

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Matko Stanković**

Zagreb, 2019. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Biserka Runje

Dr. sc. Amalija Horvatić Novak

Student:

Matko Stanković

Zagreb, 2019. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Biserki Runje na ukazanom povjerenju i stručnim savjetima pri pisanju rada. Također želim se zahvaliti komentorici dr. sc. Amaliji Horvatić Novak na velikoj pomoći pri mjerenju i korisnim savjetima pri oblikovanju rada.

Hvala mojim roditeljima i sestri na velikoj podršci tijekom studija.

Matko Stanković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Matko Stanković**

Mat. br.: 0035207422

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**Zahtjevi na površinsku hrapavost nehrđajućih čelika**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**The requirements on the stainless steel surface roughness**

Opis zadatka:

Površinska hrapavost, u kasnijem tekstu hrapavost, je komponenta teksture površine koja uključuje kratkovalne nepravilnosti površine uzrokovane proizvodnim procesom, odnosno postupkom obrade.

U radu je potrebno:

- Sukladno važećim normama navesti parametre hrapavosti tehničkih površina te objasniti njihovu funkciju.
- Opisati zahtjeve koji se postavljaju na kvalitetu površine nehrđajućih čelika sukladno normi EN 10088-2.
- Na odabranim uzorcima izmjeriti parametre hrapavosti i analizirati rezultate.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Rok predaje rada:

1. rok: 22. veljače 2019.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.

3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.

3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Biserka Runje

Komentor:

Dr. sc. Amalija Horvatić Novak

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

# SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD .....	1
2. HRAPAVOST POVRŠINA .....	3
2.1. OPIS POVRŠINE .....	3
2.2. OBLIK, VALOVITOST I HRAPAVOST .....	4
2.3. 2D SUSTAVI MJERENJA HRAPAVOSTI .....	8
3. PARAMETRI HRAPAVOSTI .....	11
3.1. AMPLITUDNI PARAMETRI.....	12
3.2. UZDUŽNI PARAMETRI .....	16
3.3. HIBRIDNI PARAMETRI .....	16
3.4. KRIVULJNI I SRODNI PARAMETRI .....	17
4. NEHRĐAJUĆI ČELICI I ZAHTJEVI NA KVALITETU POVRŠINE.....	19
4.1. TOPLO VALJANE POVRŠINE .....	20
4.2. HLADNO VALJANE POVRŠINE.....	21
4.3. POVRŠINE DOBIVENE POSEBNIM POSTUPCIMA .....	24
5. MJERENJE HRAPAVOSTI .....	29
5.1. HRAPAVOST NA RAZLIČITIM POVRŠINAMA .....	29
5.1.1. Površine osnovnog materijala.....	31
5.1.1.1. Uzorak 1 .....	31
5.1.1.2. Uzorak 2 .....	31
5.1.1.3. Uzorak 3 .....	32
5.1.1.4. Uzorak 4 .....	33
5.1.1.5. Uzorak 5 .....	33
5.1.1.6. Uzorak 6 .....	34

5.1.1.7.	Zapažanja .....	35
5.1.2.	Elektropolirane površine .....	36
5.1.2.1.	Uzorak 1 .....	36
5.1.2.2.	Uzorak 2 .....	36
5.1.2.3.	Uzorak 3 .....	36
5.1.2.4.	Uzorak 4 .....	37
5.1.2.5.	Uzorak 5 .....	37
5.1.2.6.	Uzorak 6 .....	37
5.1.2.7.	Zapažanja .....	38
5.1.3.	Bojene površine .....	39
5.1.3.1.	Uzorak 1 - 0,5 A .....	39
5.1.3.2.	Uzorak 2 - 1 A .....	39
5.1.3.3.	Uzorak 3 - 5 A .....	39
5.1.3.4.	Uzorak 4 - 6 A .....	39
5.1.3.5.	Uzorak 5 - 10 A .....	40
5.1.3.6.	Uzorak 6 - 14 A .....	40
5.1.3.7.	Zapažanja .....	41
5.2.	HRAPAVOST POSEBNIH POVRŠINA .....	43
5.2.1.	Uzorak A .....	43
5.2.2.	Uzorak B .....	43
5.2.3.	Uzorak C .....	44
5.2.4.	Uzorak D .....	44
6.	ZAKLJUČAK .....	45
	LITERATURA .....	46
	PRILOZI .....	48

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Pasivacija oštećenog sloja [3] .....	2
Slika 2.	Realna površina sa odstupanjima [5] .....	3
Slika 3.	Smjerovi tragova površina [6].....	4
Slika 4.	Profil površine [5] .....	4
Slika 5.	Odstupanje od oblika [5].....	5
Slika 6.	Valovitost profila [5].....	5
Slika 7.	Hrapavost profila [5] .....	6
Slika 8.	Primarni profil i srednja linija primarnog profila ( $\lambda_s$ filter) [7].....	6
Slika 9.	Srednja linija primarnog profila i srednja linija nakon $\lambda_f$ -filtriranja [7] .....	7
Slika 10.	Profil valovitosti sa srednjom vrijednosti nakon $\lambda_c$ - filtriranja [7] .....	7
Slika 11.	Profil hrapavosti sa srednjom linijom nakon $\lambda_c$ - filtriranja [7].....	7
Slika 12.	Mjerenje hrapavosti [9] .....	9
Slika 13.	Karakteristične duljine [5] .....	10
Slika 14.	Srednja linija profila [5] .....	10
Slika 15.	Površine s istom vrijednošću $Ra$ [9] .....	12
Slika 16.	Srednje aritmetičko odstupanje $Ra$ [10].....	13
Slika 17.	Računanje parametra $Rc$ [11] .....	14
Slika 18.	Asimetričnost profila $Rsk$ [12] .....	15
Slika 19.	Profili sa različitim $Rku$ parametrima [12].....	15
Slika 20.	Koraci elemenata profila [7] .....	16
Slika 21.	Računanje nagiba profila [12].....	17
Slika 22.	Računanje udjela materijala u profilu [11] .....	17
Slika 23.	$Rmr(c)$ kao funkcija visine presjeka $c$ [7] .....	18
Slika 24.	$Rdc$ iznosi 6,5 $\mu m$ za udio 5%-95% [13] .....	18
Slika 25.	Lim i ploča od nehrđajućeg čelika [15] .....	19
Slika 26.	Površina $1D$ [17] .....	21
Slika 27.	Površina $2D$ [17] .....	22
Slika 28.	Površina $2B$ [17].....	23
Slika 29.	Površina $2R$ [17].....	23
Slika 30.	Površina $2G$ [17] .....	24
Slika 31.	Površina $2J$ [17] .....	25
Slika 32.	Površina $2K$ [17] .....	25

Slika 33.	Površina 2P [17].....	26
Slika 34.	Površina 2F [17].....	26
Slika 35.	Površina 1M [18].....	26
Slika 36.	Površine 2M [17].....	27
Slika 37.	Površine 2W [17].....	27
Slika 38.	Površine 2L [17].....	28
Slika 39.	Surtronic 25 [19].....	29
Slika 40.	Različite površine na uzorku.....	30
Slika 41.	Profil površine osnovnog materijala Uzorka 1.....	31
Slika 42.	Profil površine osnovnog materijala Uzorka 2.....	32
Slika 43.	Profil površine osnovnog materijala Uzorka 3.....	32
Slika 44.	Profil površine osnovnog materijala Uzorka 4.....	33
Slika 45.	Profil površine osnovnog materijala Uzorka 5.....	34
Slika 46.	Profil površine osnovnog materijala Uzorka 6 .....	34
Slika 48.	Profil bojane površine, Uzorak 5 (10 A).....	42



## POPIS TABLICA

Tablica 1.	Preporučene granične vrijednost filtra ( $\lambda_c$ ) [4] .....	8
Tablica 2.	Hrapavost osn. materijala ( <i>Uzorci 1 do 3</i> ) .....	35
Tablica 3.	Hrapavost osn. materijala ( <i>Uzorci 4 do 6</i> ).....	35
Tablica 4.	Hrapavost elektropoliranih površina ( <i>Uzorci 1 do 3</i> ).....	38
Tablica 5.	Hrapavost elektropoliranih površina ( <i>Uzorci 4 do 6</i> ).....	38
Tablica 6.	Hrapavost bojenih površina ( <i>Uzorci 1 do 3</i> ) .....	41
Tablica 7.	Hrapavost bojenih površina ( <i>Uzorci 4 do 6</i> ) .....	41
Tablica 8.	Vrijednosti parametara $R_a$ i $R_z$ kod elektropoliranih i bojenih površina .....	42
Tablica 9.	Parametri hrapavosti <i>Uzorka A</i> .....	43
Tablica 10.	Parametri hrapavosti <i>Uzorka B</i> .....	43
Tablica 11.	Parametri hrapavosti <i>Uzorka C</i> .....	44
Tablica 12.	Parametri hrapavosti <i>Uzorka D</i> .....	44

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$c$	$\mu\text{m}$	razina odreza
$l_n$	mm	duljina vrednovanja
$l_r$	mm	referentna duljina
$l_t$	mm	duljina ispitivanja
$m$	-	broj elemenata profila na referentnoj duljini
$P$	-	prefiks parametara primarnog profila
$R$	-	prefiks parametara hrapavosti profila
$R_a$	$\mu\text{m}$	aritmetička sredina apsolutnih odstupanja profila
$R_c$	$\mu\text{m}$	srednja visina elemenata profila
$R_{da}$	°	srednji nagib profila
$R_{dc}$	$\mu\text{m}$	sekcija profila unutar dva omjera materijala
$R_{dq}$	°	srednji kvadratni nagib profila
$R_{ku}$	-	zaobljenost profila
$R_{mr}$	%	udio materijala u profilu
$R_p$	$\mu\text{m}$	maksimalna visina vrha profila
$R_q$	$\mu\text{m}$	korijen srednjeg odstupanja profila
$R_{sk}$	-	asimetričnost profila
$RS_m$	mm	srednji korak elemenata profila
$R_t$	$\mu\text{m}$	apsolutna visina profila
$R_v$	$\mu\text{m}$	maksimalna dubina dola profila
$R_z$	$\mu\text{m}$	maksimalna visina neravnina
$W$	-	prefiks parametara valovitosti profila
$\theta$	°	nagib profila u pojedinoj točki
$\lambda_c$	mm	profilni filter profila hrapavosti
$\lambda_f$	mm	profilni filter profila valovitosti
$\lambda_s$	mm	profilni filter primarnog profila

## SAŽETAK

Normom "EN 10088-2:2014: *Nehrđajući čelici - 2. dio: Tehnički uvjeti isporuke za limove/ploče i trake od korozijski postojanih čelika za opće namjene*" definirane su kvalitete površina nehrđajućih čelika. Kvalitete površina nisu predstavljene parametrima hrapavosti. Ovaj rad sastoji se od teorijskog dijela u kojem su navedeni i objašnjeni parametri hrapavosti tehničkih površina. U teorijskom dijelu također su predstavljene površine definirane normom EN 10088-2:2014. Za svaku površinu opisan je proces obrade kojim se dobiva izgled površine te zahtijevana kvaliteta površine. U drugom dijelu rada provedeno je mjerenje hrapavosti na uzorcima čije su površine opisane normom EN 10088-2:2014. Hrapavosti površina prikazane su parametrima hrapavosti te su komentirani rezultati.

Ključne riječi: Nehrđajući čelici, EN 10088-2:2014, kvaliteta površine, parametri hrapavosti

## SUMMARY

Surface finish of the corrosion-resistant steels are defined by *EN 10088-2: 2014: Stainless steels - Part 2: Technical delivery conditions for corrosion-resistant steels / plates and strips of general purposes*. Surface finish is not represented by roughness parameters. This work consists of a theoretical part, which outlines and explains the parameters of roughness of the technical surfaces. The theoretical part also presents surfaces defined by *EN 10088-2: 2014*. For each surface, the type of process route is described, which gives the appearance of the surface and the required surface finish. In the second part of the paper, measurements of roughness on samples whose surfaces are described in *EN 10088-2: 2014* are performed. The roughness of the surface is shown with the parameters of roughness and the results are commented.

Key words: Stainless steels, *EN 10088-2: 2014*, surface finish, roughness parameters

## 1. UVOD

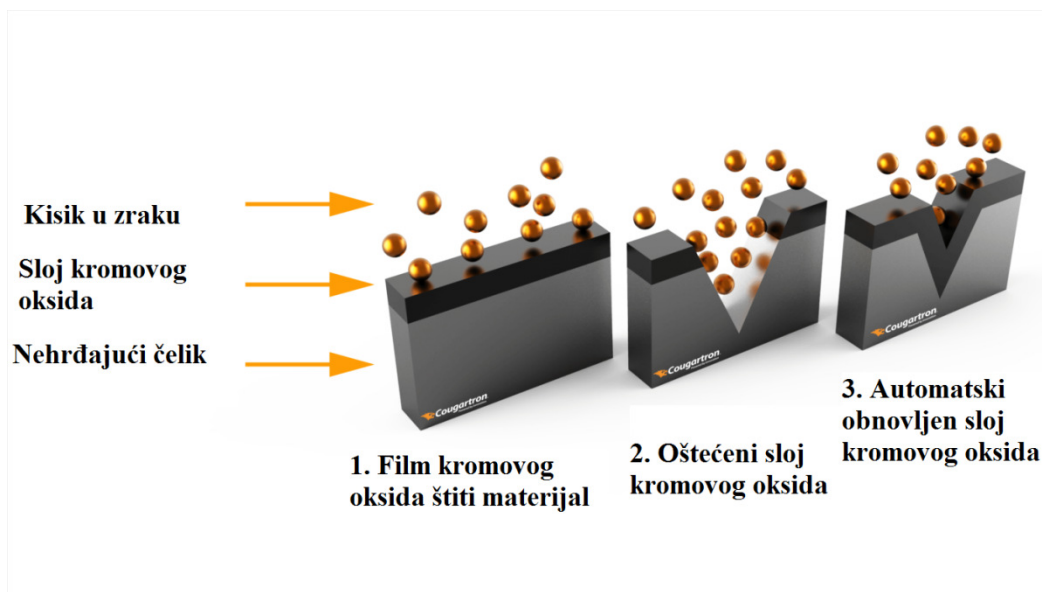
Tehničke su površine sve površine strojnih dijelova koje su dobivene nekom od obrada odvajanjem čestica ili nekom od obrada bez odvajanja čestica [1]. Svaki strojni dio okarakteriziran je svojom površinom koja ga dijeli od okoline. Stanje površina strojnog dijela u uskoj je vezi s funkcijom tog strojnog dijela, tako na primjer gdje su dva strojna dijela blizu jedan drugomu ili su u međusobnom dodiru, stanje njihovih površina utjecati će na trošenje dijelova i na svojstva brtvljenja. Kada je riječ o podmazivanju i slučajevima gdje su uključeni lubrikanti poput ulja poželjna je hrapavija površina zbog funkcije zadržavanja ulja. Izgled površine i njena pojava također imaju ponekog značaja. Dobar primjer predstavlja slučaj čeličnih karoserija motornih vozila koja trebaju imati takvu površinu koja će omogućiti nanesejoj boji bolje prijanjanje na karoseriju bez pojave efekta "narančine kore" ili sličnih grešaka. Također treba sagledati i financijski aspekt te ga uzeti u obzir: trošak proizvodnje jako glatkih površina strojnog dijela značajno povisuje njegovu cijenu bez velikog utjecaja na samu funkciju dijela i njegovo ponašanje u eksploataciji.

Tehničke površine nisu idealno glatke geometrijske plohe već su to hrapave plohe karakterizirane nizom neravnina raznih veličina, oblika i rasporeda [1]. Hrapavost tehničkih površina može utjecati na:

- smanjenje dinamičke izdržljivosti
- pojačano trenje i habanje tribološki opterećenih površina
- smanjenje prijeklopa kod steznih spojeva
- ubrzavanje korozije
- čistoću površine i vizualni dojam.

Površinska hrapavost (u kasnijem tekstu hrapavost) je komponenta teksture površine koja uključuje kratkovalne nepravilnosti površine uzrokovane proizvodnim procesom, odnosno postupkom obrade [2].

Nehrđajući čelici predstavljaju posebnu skupinu čelika s jedinstvenim karakteristikama korozijske postojanosti. Zaštićeni filmom kromovog oksida na površini formiran reakcijom kroma iz čelika i kisika iz zraka, nehrđajući čelici ne zahtijevaju dodatnu zaštitu površine od korozije. Ako dođe do oštećenja površine nehrđajućeg čelika, tanak oksidni film na površini brzo se formira u prisustvu kisika te sprječava koroziju [Slika 1]. Važnost kvalitete površine nehrđajućih čelika neupitna je za korozijsku otpornost nehrđajućih čelika.



**Slika 1. Pasivacija oštećenog sloja [3]**

Strojarska proizvodnja općenito je podvrgnuta sve strožim zahtjevima u smislu kraćih vremena obrade dijelova manjih dopuštenih odstupanja. Dakako, manja dopuštena odstupanja u direktnoj vezi postavljaju strože zahtjeve za kvalitetom obrađene površine strojnih dijelova. Kako se stanje i kvaliteta tehničkih površina prvenstveno ocjenjuju pomoću hrapavosti važno je definirati hrapavost i parametre kojima se ona opisuje.

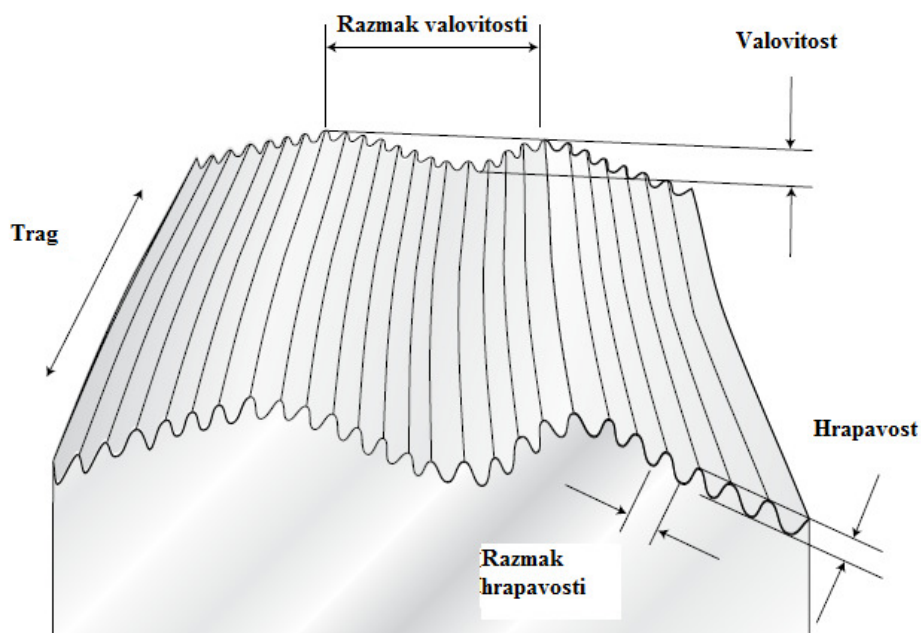
U daljnjim poglavljima predstavljeni su parametri hrapavosti tehničkih površina i zahtjevi na hrapavost i kvalitetu površine nehrđajućih čelika za opću namjenu definirani normom *EN 10088-2:2014: Nehrđajući čelici -- 2. dio: Tehnički uvjeti isporuke za limove/ploče i trake od korozijski postojanih čelika za opće namjene*.

## 2. HRAPAVOST POVRŠINA

### 2.1. Opis površine

Stvarna površina trodimenzionalna je tvorevina koja ograničava tijelo i odvaja ga od okoline nastala različitim postupcima obrade [4]. U procesu obrade odvajaju se čestice ostavljajući na strojnom dijelu ogrebotine koje su zapravo maleni žlijebovi. Formiranjem žlijebova alatom koji vršeći obradu prolazi preko strojnog dijela i na taj način formira teksturu površine. Svakim žlijebom tekstura je definirana načinom na koji je čestica odvojena od osnovnog materijala, ako je alat dobro postavljen i vođen čestice će biti jednakih veličina te će se formirati ravna površina. Ako to nije slučaj formirat će se valovita površina.

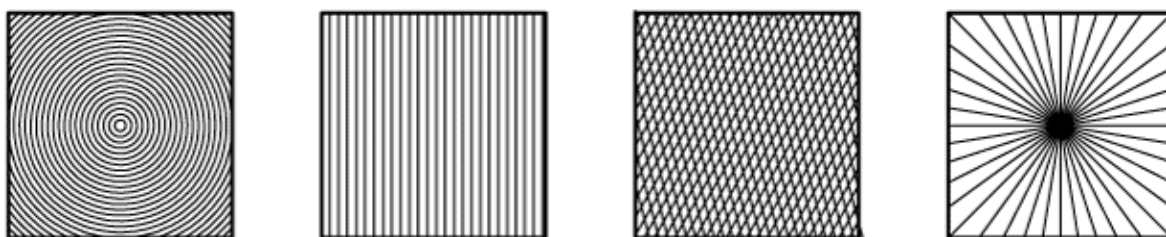
Karakteristika površine je kompleksna te na njoj postoji čitavi niz odstupanja. Mnoge površine sadrže odstupanja hrapavosti i valovitosti, ali često puta zajedno s njima površina odstupa od oblika. Takva realna površina prikazana je na slici 2.



Slika 2. Realna površina sa odstupanjima [5]

Na realnoj površini također su prisutne i greške, često u obliku ogrebotina ili udubljenja. Njihov uzrok ne mora biti sam proces obrade već one mogu nastati na primjer lošim odrezivanjem ili rukovanjem. Odstupanja od pravilnog geometrijskog oblika koja nastaju kao normalna i redovna posljedica proizvodnog procesa i imaju karakter zakonomjernosti ne smatraju se greškama [4].

Na površinama dobivenim procesom obrade lako se može raspoznati usmjerenost teksture koja obično pokriva cijelu površinu. Usmjerenost teksture ponekad je vrlo bitna, posebno kod trenja ili brtvljenja. Mjerenjem hrapavosti usmjerene teksture površine, koja bi se trebala provoditi okomito na smjer, dobivaju se slični rezultati. Usmjerenost teksture na površini obično se naziva tragom. Na slici 3 prikazani su neki od mogućih smjerova tragova.



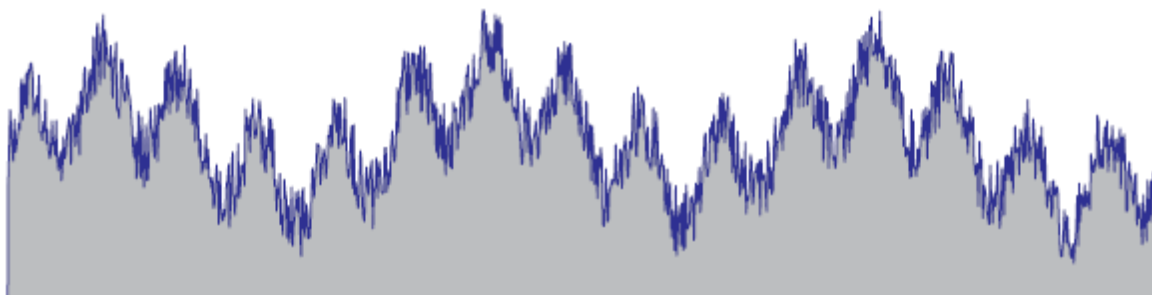
**Slika 3. Smjerovi tragova površina [6]**

## **2.2. Oblik, valovitost i hrapavost**

Kao što je već spomenuto, realna površina sadrži niz nepravilnosti i nije jednostavna za opisati. Greške na realnoj površini često su dobivene slučajno te ih je teže uočiti. Odstupanje od oblika, valovitost i hrapavost površine lakše su za primijetiti te ih se lakše daje opisati. Moguće ih je i izdvajati procesom filtriranja.

Osnovni pojmovi i definicije mjeriteljstva hrapavosti tehničkih površina, dani u nastavku, definirani su prema [2].

Mjernim uređajem s ticalom snima se realna površina i dobiva se profil površine [Slika 4]. Profil površine sadrži odstupanje od oblika, valovitost i hrapavost.



**Slika 4. Profil površine [5]**

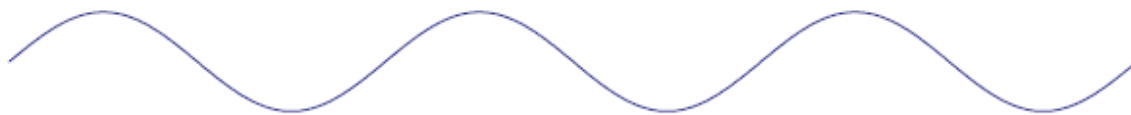


*Odstupanja od oblika* obuhvaćaju odstupanja od zadane geometrije [2]. Greške odstupanja od oblika su često uzrokovane nedovoljnim stezanjem obratka, uz to odstupanje od oblika može nastati prevelikim zagrijavanjem obratka u procesu obrade koji može uzrokovati savijanje površine [5]. Odstupanje od oblika profila površine prikazano je na slici 5.



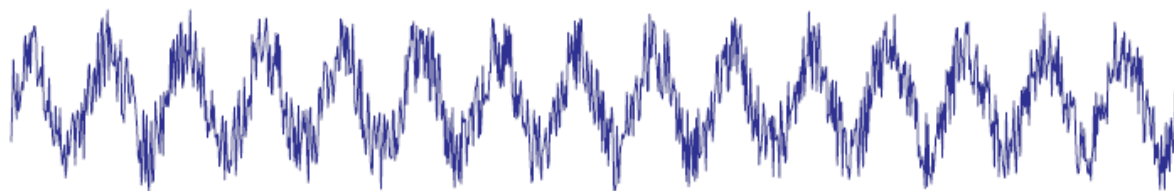
**Slika 5. Odstupanje od oblika [5]**

*Valovitost* [Slika 6] je pojava više ili manje povremenih nepravilnosti površine izratka s razmacima većim od razmaka njegove hrapavosti [2]. Valovitost nastaje tijekom proizvodnog procesa. Uzrok joj može biti nedovoljno stezanje obratka ili ako alat koji vrši obradu odstupa od oblika. Također uzroci valovitosti mogu biti razne vibracije; stroja, reznog alata ili samog obratka [5]. Valovitost se razlikuje od ravnosti tipično po svojim karakteristikama periodičnosti [5]. Valovitost sadrži i hrapavost te ih valja razlikovati.



**Slika 6. Valovitost profila [5]**

*Hrapavost* je komponenta teksture površine koja uključuje kratkovalne nepravilnosti površine uzrokovane proizvodnim procesom, odnosno postupkom obrade [2]. Hrapavost nastaje izravnim djelovanjem rezne oštrice alata na obradak. Hrapavošću se ocjenjuje kvaliteta površine te je ona dobar znak za kvalitetu proizvedenog strojnog dijela koji je zbog mogućih nepravilnosti na površini podložan pucanju ili koroziji. Hrapavost ne uključuje valovitost, odstupanje od oblika ili površinske greške. Hrapavost izdvojena od profila površine prikazana je na slici 7.

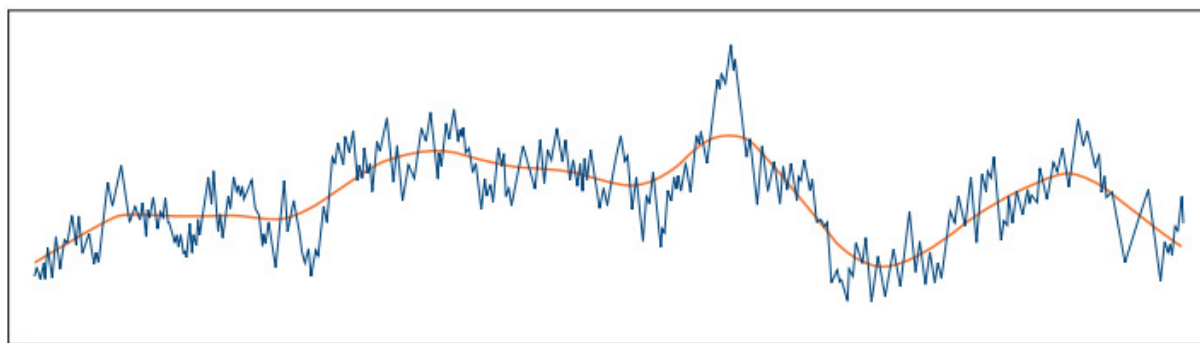


Slika 7. Hrapavost profila [5]

Profil površine prikazan na slici 4 ne sadrži samo hrapavost već i valovitost, nazivni oblik i odstupanje od nazivnog oblika. Da bi se različite komponente mogle odvojeno razmatrati i analizirati, potrebno ih je odvojiti, odnosno filtrirati. Filtriranje je proces odvajanja određenih komponenti frekvencija [4]. Ovisno o tome koju komponentu želimo, postupak filtriranja može biti:

- propuštanje komponenti profila kratkih valnih duljina odnosno visoke frekvencije čime se izdvaja hrapavost
- propuštanje komponenti profila dugih valnih duljina odnosno niske frekvencije - time se izdvaja ili valovitost ili oblik
- izdvajanje komponenti profila željene specificirane širine.

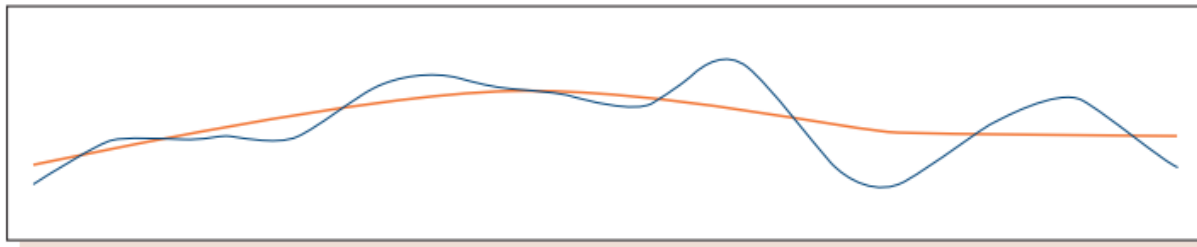
Primarni profil (*P-profil*) je profil dobiven elektroničkim filtriranjem stvarnog profila valnom duljinom  $\lambda_s$  filtra [2]. Ovim se postupkom uklanjaju komponente najkraćih valnih duljina koje u ovom slučaju nisu relevantne za analizu. Parametri primarnog profila su označeni prefiksom *P* i relevantni su na duljini vrednovanja (*ln*). Primarni profil prikazan je na slici 8.



Slika 8. Primarni profil i srednja linija primarnog profila ( $\lambda_s$  filter) [7]

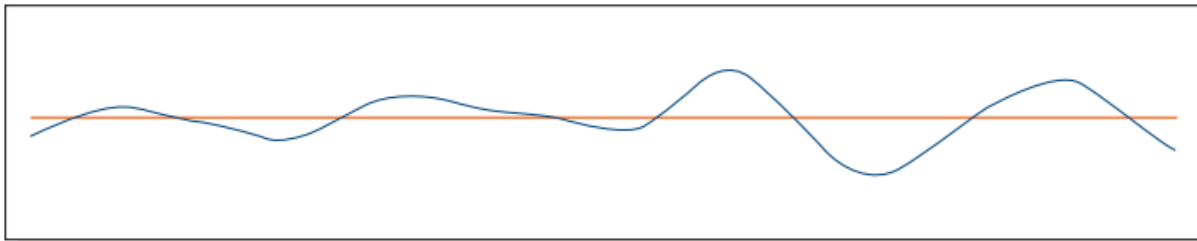
Valna duljina je odabrana za granicu između valovitosti i hrapavosti i njena vrijednost je  $\lambda_c$  (eng. *cut off*).

*Profil valovitosti (W-profil)* je profil dobiven prvo postupkom elektroničkog filtriranja stvarnog profila pomoću filtra ( $\lambda_f$ ) koji propušta komponente dugih valnih duljina [Slika 9].



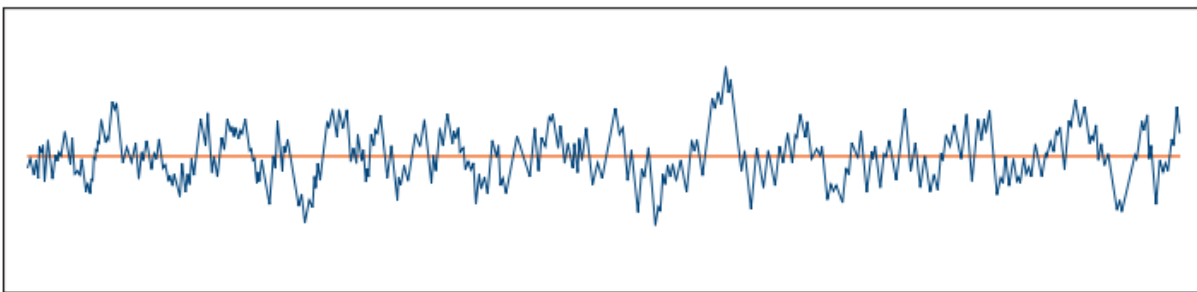
**Slika 9. Srednja linija primarnog profila i srednja linija nakon  $\lambda_f$ -filtriranja [7]**

Nakon toga slijedi filtriranje filtrom  $\lambda_c$  [Slika 10]. Parametri valovitosti označeni su prefiksom  $W$  i relevantni su na duljini vrednovanja  $ln$  koja se sastoji od nekoliko referentnih duljina  $lw$ . Referentna duljina  $lw$  jednaka je valnoj duljini  $\lambda_f$  propusnog filtra.



**Slika 10. Profil valovitosti sa srednjom vrijednosti nakon  $\lambda_c$ -filtriranja [7]**

*Profil hrapavosti (R-profil)* je profil dobiven elektroničkim filtriranjem primarnog profila pomoću  $\lambda_c$ -visoko propusnog filtra koji propušta karakteristike kratke valne duljine [Slika 11] [2]. Parametri hrapavosti označeni su prefiksom  $R$  i relevantni su na duljini vrednovanja  $ln$  koja se sastoji od pet referentnih duljina  $lr$ . Referentna duljina  $lr$  jednaka je valnoj duljini  $\lambda_c$  propusnog filtra.



**Slika 11. Profil hrapavosti sa srednjom linijom nakon  $\lambda_c$ -filtriranja [7]**

U tablici 1 prikazane su preporučene granične vrijednosti filtra ( $\lambda_c$ ) prema normi *HRN EN ISO 4288:1996 Geometrijske specifikacije proizvoda (GSP) -- Tekstura površine: Metoda snimanja profila -- Pravila i postupci pri procjenjivanju teksture površine*.

**Tablica 1. Preporučene granične vrijednost filtra ( $\lambda_c$ ) [4]**

REFERENTNA DULJINA	DULJINA VREDNOVANJA	PERIODIČKI PROFIL	NEPERIODIČKI PROFIL	
$l_r (\lambda_c)$ u mm	$l_n = 5 \times l_r$ u mm	$RSm$ u mm	$Rz$ u $\mu m$	$Ra$ u $\mu m$
0,08	0,4	>0,013 do 0,04	do 0,1	do 0,02
0,25	1,25	>0,04 do 0,13	>0,1 do 0,5	>0,02 do 0,1
0,8	4	>0,13 do 0,4	>0,5 do 10	>0,1 do 2
2,5	12,5	>0,4 do 1,3	>10 do 50	>2 do 10
8	40	>1,3 do 4	>50	>10

### 2.3. 2D sustavi mjerenja hrapavosti

Hrapavost površine teško je opisati riječima te se oduvijek težilo izmjeriti površinu i predstaviti je slikovnim zapisom uz neke dodatne numeričke podatke. Razvoj tehnologije omogućio nam je mjerenja hrapavosti pomoću 2D i 3D sustava. Iako 3D sustav ima mnoge prednosti nad 2D sustavom, u najvećoj mjeri i dalje se koristi 2D sustav mjerenja hrapavosti. U ovom radu u svrhu mjerenja korišten je 2D sustav mjerenja hrapavosti.

Mjerni uređaj sadrži iglu s ticalom koji prolazeći preko površine konstantnom brzinom bilježi vertikalna odstupanja površine [Slika 12]. Odstupanja površine dalje se električnim signalom šalju u računalo. Računalo prikazuje profil površine i numeričke podatke o površini izražene parametrima hrapavosti.



**Slika 12. Mjerenje hrapavosti [9]**

Mjerenje se provodi okomito na trag (opisan ranije), odnosno u ravnini čija je normalna paralelna sa tragom. U slučajevima u kojima nije moguće formirati mišljenje o smjeru traga, provode se mjerenja u više pravaca i prihvaća maksimalna vrijednost kao parametar hrapavosti [4].

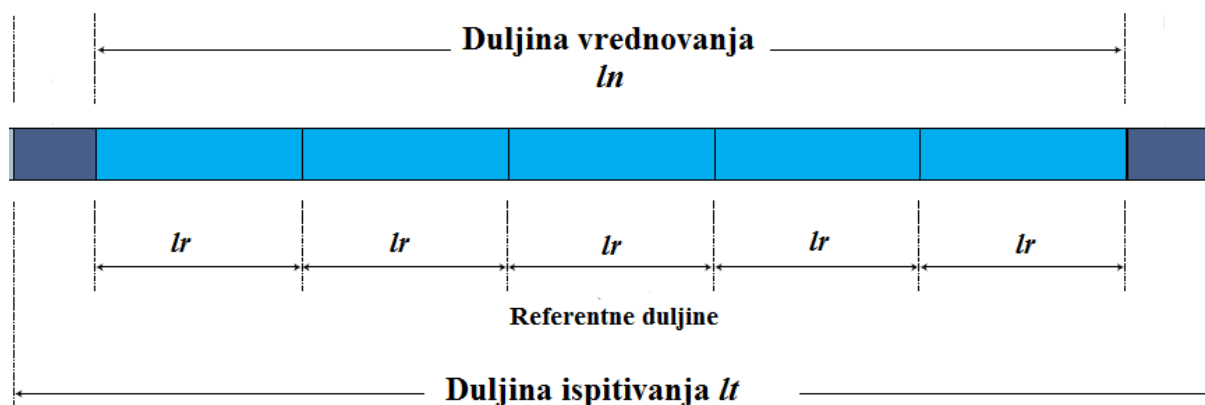
Za potrebu mjerenja hrapavosti 2D sustavom važnost imaju karakteristične duljine na kojima se provodi mjerenje hrapavosti. Njima je standardiziran proces mjerenja te se pomoću njih izražavaju parametri hrapavosti. Karakteristične duljine su:

- duljina ispitivanja  $l_t$
- duljina vrednovanja  $l_n$
- referentna duljina  $l_r$ .

Referentna duljina  $l_r$  iznosom je jednaka graničnoj vrijednosti filtra  $\lambda_c$  [2]. Prema iskustvu, prvo se provede probno mjerenje. Analizom dobivenih rezultata (slike i parametara) odabire se odgovarajuća vrijednost referentne duljine preporučene prema tablici 1.

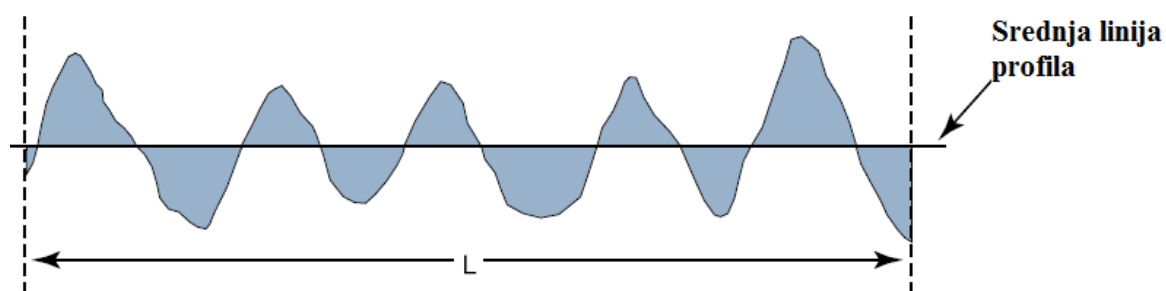
Duljina vrednovanja  $l_n$  kraća je od duljine ispitivanja. Iznos duljine vrednovanja preporučen je tablicom 1 i iznosi pet referentnih duljina  $l_r$ .

Duljina ispitivanja  $l_t$  najduža je karakteristična duljina. Sastoji se od duljine vrednovanja i od dodatnih duljina: duljine potrebne za ubrzanje ticala i duljine potrebne za usporenje ticala. Odnos karakterističnih duljina prikazan je na slici 13.



Slika 13. Karakteristične duljine [5]

Srednja linija profila prikazana na slici 14 se definira za primarni profil, profil hrapavosti i profil valovitosti, a predstavlja referentnu liniju za izračun parametara [4]. Srednja linija profila određuje se metodom najmanjih kvadrata.



Slika 14. Srednja linija profila [5]

### 3. PARAMETRI HRAPAVOSTI

Kada bi se svakoj različitoj površini dodijelio jedinstveni broj koji bi karakterizirao njenu hrapavost, procjena hrapavosti više ne bi bila subjektivan već bi postala objektivan proces. Površina se nastoji opisati vrijednosnim podacima, odnosno parametrima. Niti jednim parametrom ne mogu se potpuno opisati sve površine, stoga postoji niz parametara kojima se opisuje i procjenjuje površina.

Osnovne definicije parametara hrapavosti tehničkih površina, dane u nastavku, definirane su prema [2].

Parametri se definiraju i računaju u ovisnosti o vrsti profila. Postoje tri prefiksa parametara (prvo slovo simbola), koji označavaju vrstu profila:

- *R* je prefiks parametara hrapavosti profila
- *W* je prefiks parametara valovitosti profila.
- *P* je prefiks parametara primarnog profila.

Parametri hrapavosti profila dijele se u četiri kategorije:

- *Amplitudni parametri,*
- *Uzdužni parametri,*
- *Hibridni parametri,*
- *Krivuljni i srodni .*

Parametri hrapavosti, podijeljeni po kategorijama, predstavljeni su u nastavku.

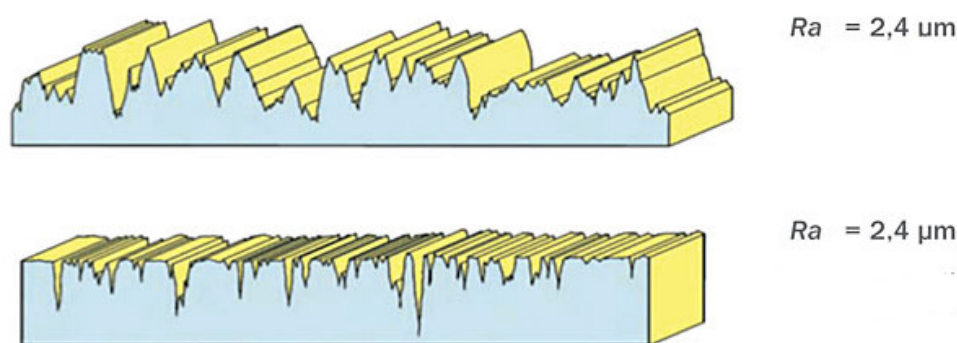
### 3.1. Amplitudni parametri

Amplitudni parametri su najvažniji parametri kojima se opisuju varijacije po visini profila.

$Ra$  parametar je najčešće korišteni parametar hrapavosti.  $Ra$  predstavlja aritmetičku sredinu apsolutnih odstupanja profila hrapavosti od srednje linije na referentnoj duljini  $lr$ . Matematički se definira prema formuli:

$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx \quad (1)$$

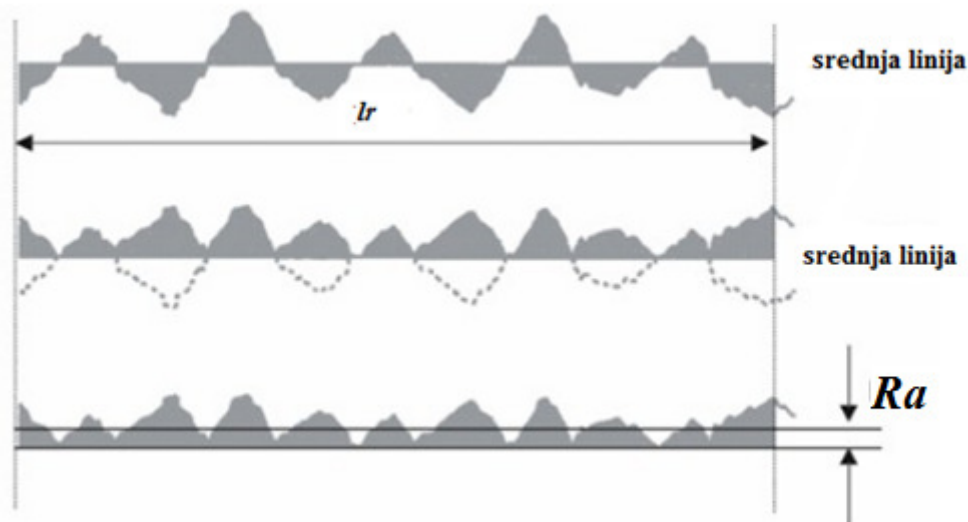
Iako je najčešće korišteni parametar hrapavosti, parametar  $Ra$  ne opisuje površinu dosljedno i učinkovito [4]. Razlike između brijegova i dolova nisu vidljive te se ne dobiva informacija o oblicima nepravilnosti na površini. Tako vrlo različite površine u pogledu visina vrhova i dolova mogu imati vrlo sličan ili isti parametar  $Ra$ . Slučaj takvih površina prikazan je na slici 15.



Slika 15. Površine s istom vrijednošću  $Ra$  [9]

Profil površine sadrži vrhove i dolove, dolovi se zatim "preslikavaju" iznad srednje linije profila, a  $Ra$  parametar se definira kao srednja vrijednost visina dobivenog profila [Slika 16].





Slika 16. Srednje aritmetičko odstupanje  $Ra$  [10]

$Rq$  - korijen srednjeg odstupanja profila. Parametar  $Rq$  osjetljivi je na veća odstupanja profila od srednje linije u odnosu na  $Ra$  i predstavlja veće značenje u statističkom opisivanju hrapavosti nego  $Ra$ .  $Rq$  parametar matematički je prikazan formulom:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} (y(x))^2 dx} \quad (2)$$

$Rp$  - maksimalna visina vrha profila. Parametar  $Rp$  predstavlja najveću visinu vrha profila u odnosu na srednju liniju na referentnoj duljini  $lr$ .

$Rv$  - maksimalna dubina dola profila.  $Rv$  parametar predstavlja maksimalnu dubinu dola profila u odnosu na srednju liniju na referentnoj duljini  $lr$ .

$Rz$  - maksimalna visina neravnina. Parametar  $Rz$  predstavlja sumu najvišeg vrha profila i najdubljeg dola profila na referentnoj duljini  $lr$ .

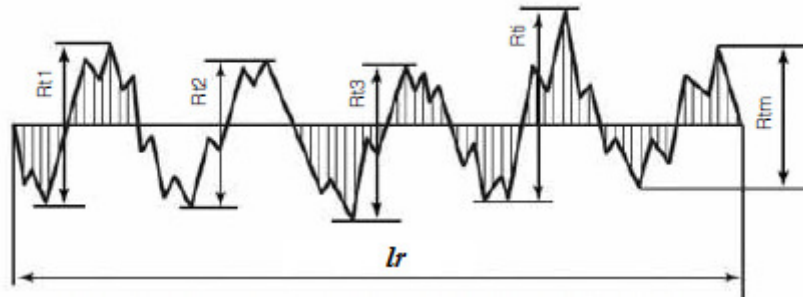
$$Rz = Rp + Rv \quad (3)$$

$Rt$  - apsolutna visina profila. Amplituda između najvišeg vrha profila i najdubljeg dola profila na duljini vrednovanja  $ln$ .

$R_c$  - Srednja visina elemenata profila [Slika 17]. Parametar  $R_c$  računa se kao srednja vrijednost visina elemenata profila  $Rt_i$  na referentnoj duljini  $lr$ . Računa se prema formuli:

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Rt_i \quad (4)$$

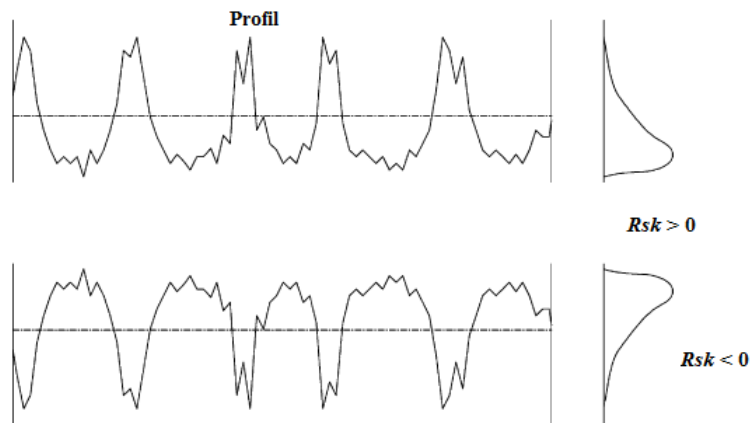
gdje je  $m$  broj elemenata profila na referentnoj duljini.



Slika 17. Računanje parametra  $R_c$  [11]

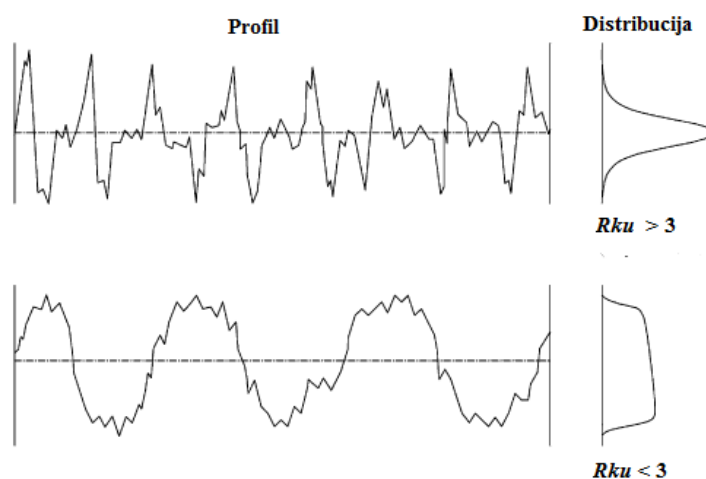
$R_{sk}$ - asimetričnost profila (eng. *skewness*): parametar kojim se iskazuje simetričnost profila u odnosu na srednju liniju na referentnoj duljini. Parametar pokazuje osjetljivost na pojedine duboke dolove i visoke vrhove. Površina koja ima jednoliku amplitudnu distribuciju, kao na primjer sa jednakim vrhovima i dolovima, ima vrijednost asimetričnosti 0 (nula). Profil kojemu su vrhovi otklonjeni ili duboki dolovi ima negativnu asimetriju, za razliku od profila sa pozitivnom asimetrijom kojemu su dolovi ili vrhovi popunjeni [Slika 18].  $R_{sk}$  parametar računa se prema formuli:

$$R_{sk} = \frac{1}{Rq^3} \left[ \frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^3(x) dx \right] \quad (5)$$

Slika 18. Asimetričnost profila  $Rsk$  [12]

$Rku$  - zaobljenost profila (eng. *kurtosis*).  $Rku$  parametar opisuje zaobljenost profila na referentnoj duljini. Ako je  $Rku$  parametar manji od 3, funkcija distribucije ima "spljošteni" oblik i može se reći da profil ima relativno manje viših vrhova i plitki dolova [12]. Ako je  $Rku$  parametar veći od 3 funkcija distribucije je "šiljata" i može se reći da profil ima relativno više viših vrhova i plitkih dolova [12]. Na slici 19 prikazana su dva profila s istim  $Ra$  parametrima, ali različitim  $Rku$  parametrima.  $Rku$  parametar računa se prema formuli:

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[ \frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^4(x) dx \right] \quad (6)$$

Slika 19. Profili sa različitim  $Rku$  parametrima [12]

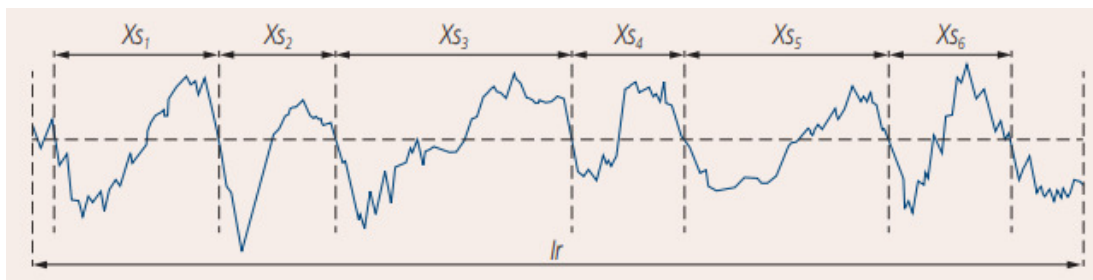
### 3.2. Uzdužni parametri

Uzdužni parametri opisuju varijacije uzduž profila [4].

$RS_m$  - srednji korak elemenata profila na referentnoj duljini.

$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{S_i} \quad (7)$$

gdje je  $m$  broj elemenata profila.



Slika 20. Koraci elemenata profila [7]

### 3.3. Hibridni parametri

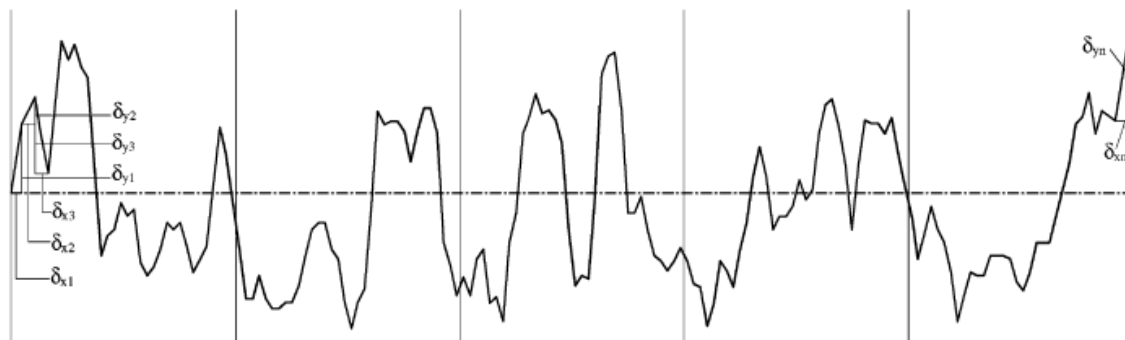
Hibridni parametri opisuju varijacije iz kombinacije uzdužnih i amplitudnih karakteristika profila [4].

$Rdq$  - srednji kvadratni nagib profila na duljini vrednovanja računa se prema formuli:

$$Rdq = \sqrt{\frac{1}{ln} \int_0^{ln} (\Theta(x) - \Theta)^2 dx} \quad (8)$$

$$\Theta = \frac{1}{ln} \int_0^{ln} \Theta(x) dx \quad (9)$$

$\Theta$  predstavlja nagib profila pojedinoj točki. Što je strmiji srednji nagib profila duža je stvarna duljina profila u odnosu na nazivnu duljinu.  $Rdq$  parametar koristan je kod operacija bojanja jer je za premaz važna stvarna duljina profila [5].



Slika 21. Računanje nagiba profila [12]

*Rda* - srednji nagib profila, računa se na duljini vrednovanja *ln*. *Rda* računa se prema formuli:

$$Rda = \frac{1}{ln} \int_0^{ln} \left| \frac{dy}{dx} \right| dx \quad (10)$$

### 3.4. Krivuljni i srodni parametri

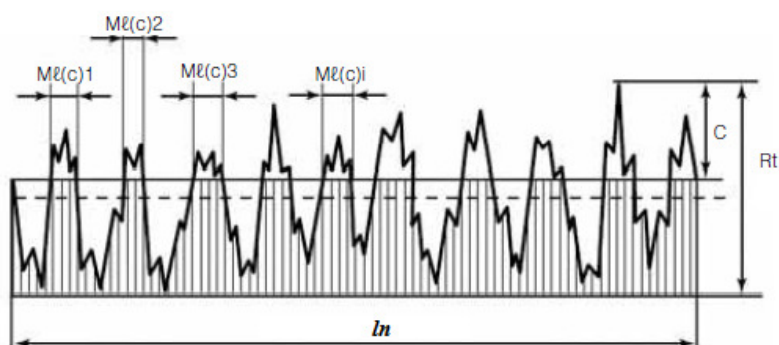
Krivuljni i srodni parametri su definirani na duljini vrednovanja.

*Rmr(c)*- udio materijala u profilu. Često korišten parametar kod površina koje su u međusobno kontaktu i relativno se gibaju jedna u odnosu na drugu što rezultira trošenjem.

*Rmr(c)* računa se prema formuli iz slike 22:

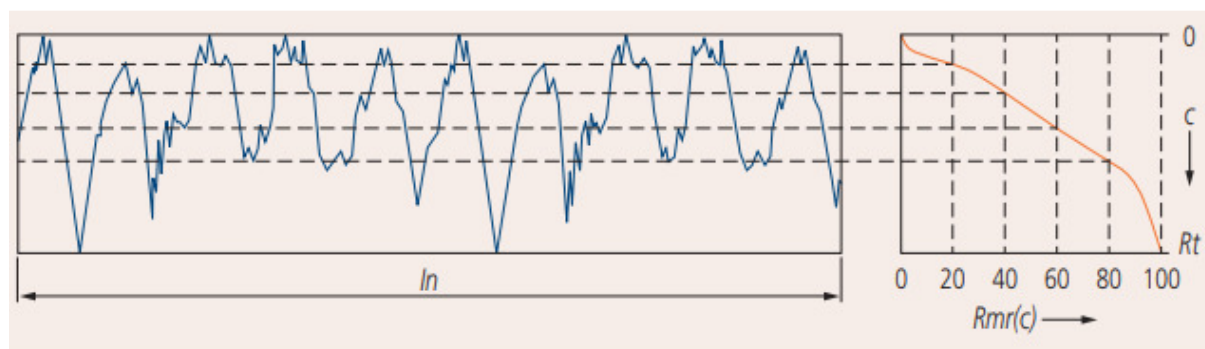
$$Rmr(c) = Ml(c)/ln \quad (11)$$

gdje je *c* razina odreza ( u  $\mu m$  ili %).



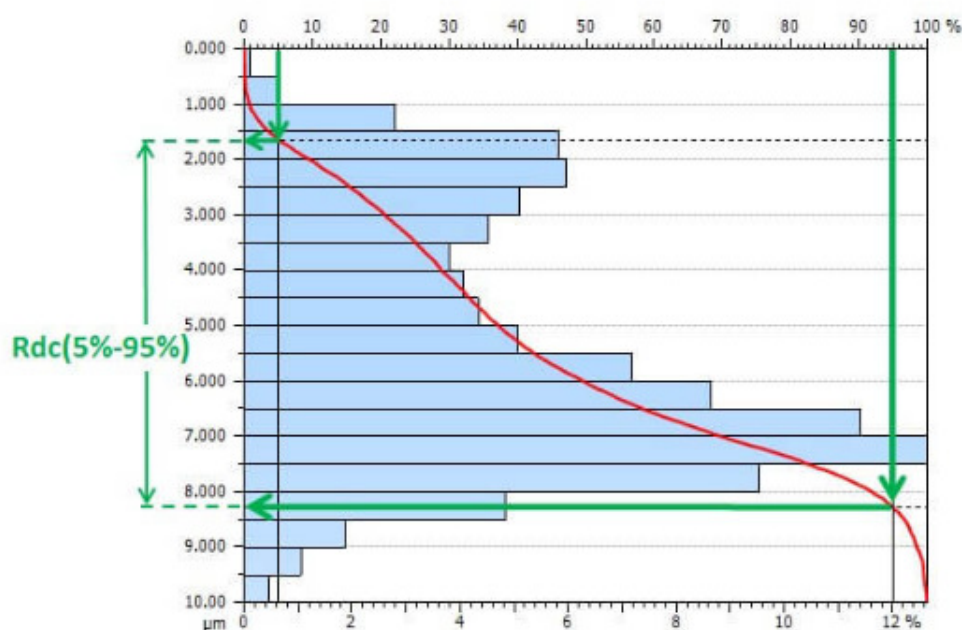
Slika 22. Računanje udjela materijala u profilu [11]

Krivulja udjela materijala (Abbott-Firestone krivulja) je kumulativna funkcija gustoće vjerojatnosti visine profila (desno na slici 23). Koristi se za karakterizaciju slojevitih površina [4].



Slika 23.  $Rmr(c)$  kao funkcija visine presjeka  $c$  [7]

$Rdc$  - sekcija profila unutar dva omjera materijala. Parametar se temelji na krivulji udjela materijala i pokazuje kolika se visina profila nalazi unutar određenog postotka udjela materijala. Ako bi se na primjer hrapavost izrazila pomoću parametra  $Rdc$  (2%-98%), tim bi se podatkom izuzeli najviši vrhovi i najdublji dolovi profila.  $Rdc$  parametar često se koristi kod opisa tarnih površina gdje se koriste maziva, razlog tomu je pojava zaglađivanja vrhova i pojava popunjavanja dolova mazivom [13].



Slika 24.  $Rdc$  iznosi  $6,5 \mu m$  za udio 5%-95% [13]

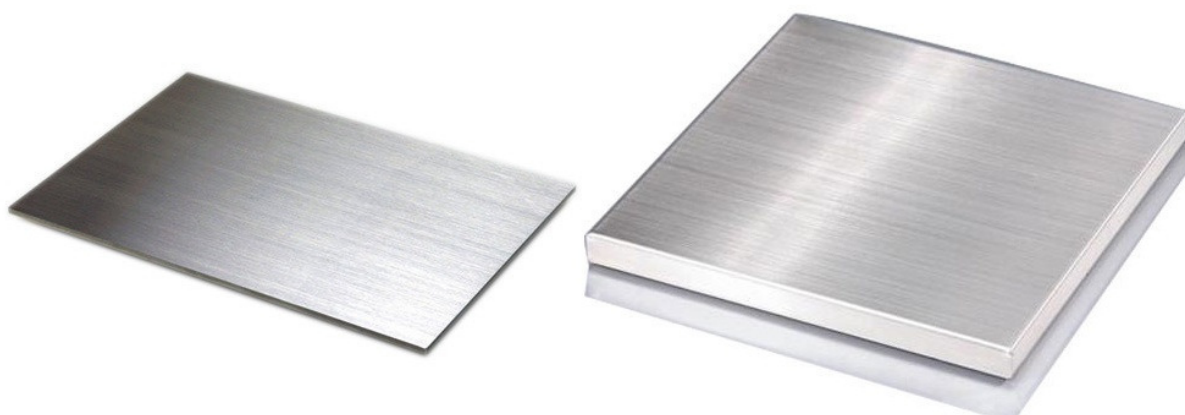
#### 4. NEHRĐAJUĆI ČELICI I ZAHTJEVI NA KVALITETU POVRŠINE

Nehrđajući čelici, kako je definirano prema [14], su čelici s najmanje 10,5 % kroma i maksimalno 1,2 % ugljika u masenom udjelu.

Nehrđajući čelici nude niz svojstava koje ih čine prikladnima za razne konstrukcijske i dekorativne primjene u strojarstvu, građevinarstvu i sličnim sektorima. Oni su:

- otporni na koroziju,
- moderni i atraktivni,
- jednostavni za održavanje,
- moguće ih je u potpunosti reciklirati.

Iz tih razloga strojari, građevinari, arhitekti i dizajneri primjenjuju nehrđajući čelik u širokom rasponu industrija koje uključuju konstrukcije i građevinarstvo (zgrade, rukohvati, ograde), proizvodnju hrane, kuhinjsku opremu, proizvodnju kućanskih aparata i dr.



**Slika 25. Lim i ploča od nehrđajućeg čelika [15]**

Kako postoje razne primjene nehrđajućih čelika, javljaju se različiti zahtjevi na kvalitetu površine. Kod izrade dijelova u strojarskoj proizvodnji definiraju se sve kompleksniji zahtjevi u pogledu dopuštenih odstupanja. Dopuštena odstupanja tehničkih površina u direktnoj su vezi sa stanjem i kvalitetom površine.

Normom "EN 10088-2:2014 'Stainless steels - Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for general purposes'" (puni naziv norme na engleskom jeziku) propisuju se tehnički uvjeti isporuke za limove/ploče i trake od korozijski postojanih čelika za opće namjenu. Navedenom normom postavljeni su i zahtjevi na kvalitetu površine

nehrđajućih čelika. Normom *EN 10088-2:2014* (u daljnjem tekstu norma) definirana je kvaliteta površine i stanje isporuke limova, ploča i traka od nehrđajućih čelika za:

- površine dobivene toplim valjanjem (*Hot rolled*)
- površine dobivene hladnim valjanjem (*Cold rolled*)
- površine dobivene specijalnim postupcima (*Special finishes*)

Definicije kvalitete površina u smislu topografije površina u danoj normi nisu izražene pomoću parametara hrapavosti.

Svaki čelik definiran u normi predstavljen je svojim simbolom, npr: *1E*, *1D*, *2B*, *2D*, *2C*, itd. Različiti broj u simbolu označava postupak valjanja kojom je dobivena površina, tako površina može biti obrađena toplim valjanjem (*1*) ili hladnim valjanjem (*2*). Slovo u svakom od pojedinih simbola označava slijed različitih postupaka obrade.

U nastavku su prikazani zahtjevi na kvalitetu površina nehrđajućih čelika podijeljenih prema tipu postupka obrade.

#### **4.1. Toplo valjane površine**

Površine dobivene postupkom toplog valjanja u simbolu na prvom mjestu sadrže znak "1" [16].

***1U:***

- Toplo valjano, nije toplinski obrađeno, oksidni sloj nije uklonjen.
- Površina prekrivena oksidnim slojem.

Čelik pogodan za proizvode za naknadno oblikovanje, npr. traka za naknadno valjanje.

***1C:***

- Toplo valjano, toplinski obrađeno, oksidni sloj nije uklonjen.
- Površina prekrivena oksidnim slojem.

Prikladna za dijelove koji će biti naknadno mehanički obrađivani ili za pojedine upotrebe kod visokih temperatura.

***1E:***

- Toplo valjano, toplinski obrađeno, mehanički uklonjen sloj oksida.
- Površina bez oksidnog sloja.

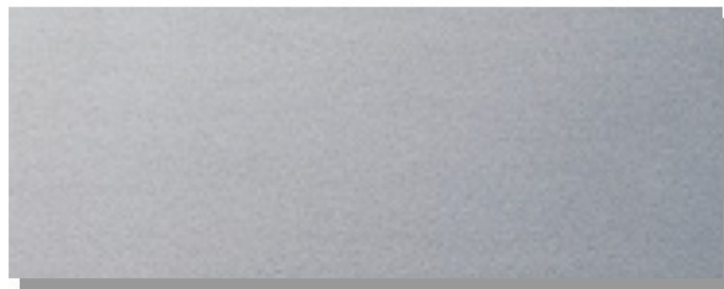


Odluka kojim će se mehanički postupkom ukloniti oksidni sloj, npr. grubim brušenjem ili pjeskarenjem, ovisi o upotrebi čelika i proizvoda i donesena je voljom proizvođača, osim ako nije drugačije dogovoreno.

**1D** [Slika 26]:

- Toplo valjano, toplinski obrađeno, dekapirano.
- Površina bez oksidnog sloja.

Uobičajena obrada za sve vrste čelika kako bi se osigurala dobra korozijska otpornost; također uobičajena kvaliteta površine potrebna za daljnju obradu. Dopuštena je prisutnost tragova brušenja. Ne tako glatka kao 2D ili 2B.



**Slika 26. Površina 1D [17]**

#### **4.2. Hladno valjane površine**

Površine dobivene postupkom hladnog valjanja u simbolu na prvom mjestu sadrže oznaku "2" [16].

**2H:**

- Dobiveno hladnim valjanjem, hladno očvrsnuto.
- Svijetla površina.

Dobiveno hladnom deformacijom kako bi se postigla veća čvrstoća.

**2C:**

- Hladno valjano, toplinski obrađeno, oksidni sloj nije uklonjen.
- Glatka površina prekrivena oksidnim slojem nakon toplinske obrade.

Prikladna za dijelove koji će biti naknadno mehanički obrađivani ili za pojedine upotrebe kod visokih temperatura.

**2E:**

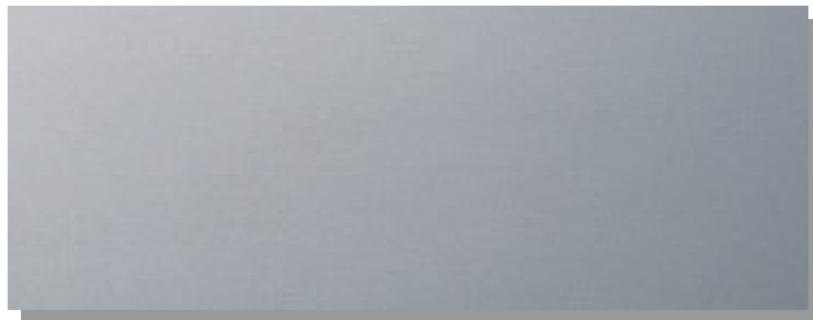
- Hladno valjano, toplinski obrađeno, mehanički uklonjen oksidni sloj.
- Površina bez oksidnog sloja.

Uobičajena površina čelika kojima je oksidni sloj otporan na dekapiranje. Može slijediti postupak dekapiranja. Hrapavost površine ovisi o mehaničkoj obradi, ovisno da li je površina, npr. pjeskarena ili brušena.

**2D [Slika 27]:**

- Hladno valjano, toplinski obrađeno, dekapirano.
- Glatka površina.

Površina kojom se postiže dobra duktilnost, ali ne tako glatka kao 2B ili 2R.



**Slika 27. Površina 2D [17]**

**2B [Slika 28]:**

- Hladno valjano, toplinski obrađeno, dekapirano, površina naknadno oblikovana.
- Gladja površina nego 2D.

Najučestalija kvaliteta površine za većinu vrsta čelika kako bi se osigurala dobra korozijska otpornost, glatkoća i ravnost. Također najučestalija kvaliteta površine za daljnju obradu. Naknadno oblikovanje površine može biti izvršeno vlačnim naprezanjem.



**Slika 28. Površina 2B [17]**

**2A:**

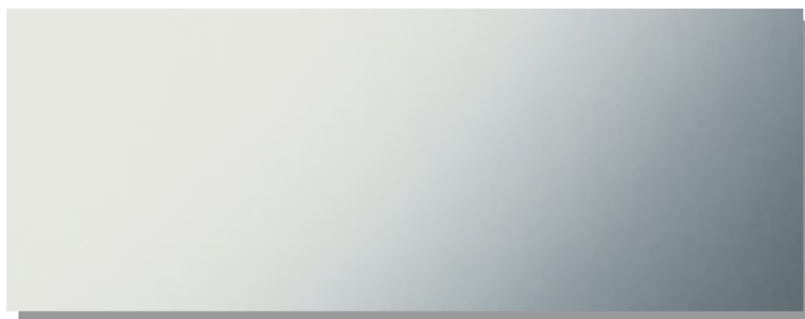
- Hladno valjano, toplinski obrađeno, dekapirano, površina naknadno oblikovana.
- Glača i jače reflektirajuća površina nego 2D.

Kvaliteta površine tipična za feritne čelike kada je poželjna velika reflektivnost.

**2R [Slika 29]:**

- Hladno valjano, žareno u inertnoj atmosferi<sup>a</sup>.
- Glatka i svijetla reflektirajuća površina.

Glača i sjajnija površina nego 2B. Također česta kvaliteta površine za daljnju obradu.



**Slika 29. Površina 2R [17]**

**2Q:**

- Hladno valjano, kaljeno i popušteno, bez oksidnog sloja.
- Površina bez oksidnog sloja.

Ili kaljeno i popušteno u zaštitnoj atmosferi ili uklonjen oksidni film nakon toplinske obrade.

---

<sup>a</sup> Može biti lako valjano.

### 4.3. Površine dobivene posebnim postupcima

Ova skupina površina nehrđajućih čelika dobivena je posebnim postupcima. Posebni postupci odnose se na dodatno brušenje ili poliranje površine, odnosno postupke kojima se dobiva poseban uzorak površine.

**1G ili 2G** [Slika 30]:

- Brušeno<sup>b</sup>.
- (Fusnota<sup>c</sup>).

Granulacija brusa ili hrapavost površine treba biti određena. Jednosmjerna tekstura, bez velike reflektivnosti.

Slika 30 prikazuje površine sa granulacijom 180 (gornja površina) i 240 (donja površina).



**Slika 30. Površina 2G [17]**

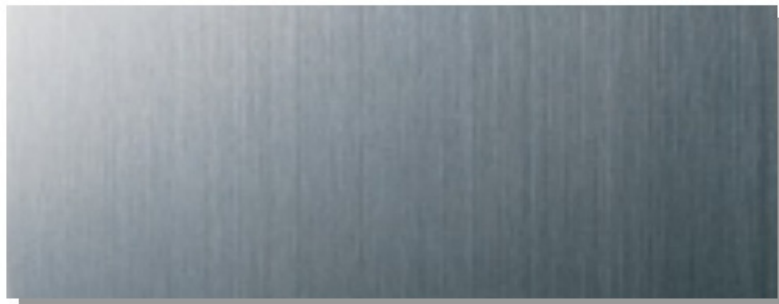
**1J ili 2J** [Slika 31]:

- Fino brušeno ili polirano.
- Glada površina nego brušena, (fusnota<sup>c</sup>)

Granulacija brusa odnosno trake za poliranje ili hrapavost moraju biti naznačeni. Jednosmjerna tekstura, bez velike reflektivnosti.

<sup>b</sup> Samo jedna površina, ako narudžbom nije drugačije određeno.

<sup>c</sup> Svakim opisom kvalitete površine karakteristike se mogu razlikovati i potreban je poseban dogovor između kupca i proizvođača oko posebnih zahtjeva (npr. granulacija brusa ili hrapavost).



**Slika 31. Površina 2J [17]**

**1K ili 2K** [Slika 32]:

- Fino polirano<sup>d</sup>.
- (Fusnota<sup>e</sup>).

Dodatni zahtjevi u usporedbi na "J" kvalitetu površine kako bi se postigla odgovarajuća korozijska otpornost za primjene na građevinskim objektima izloženim vanjskim utjecajima (atmosfera, morska voda). Poprečno polirano s kvalitetom  $Ra < 0,5 \mu\text{m}$ .



**Slika 32. Površina 2K [17]**

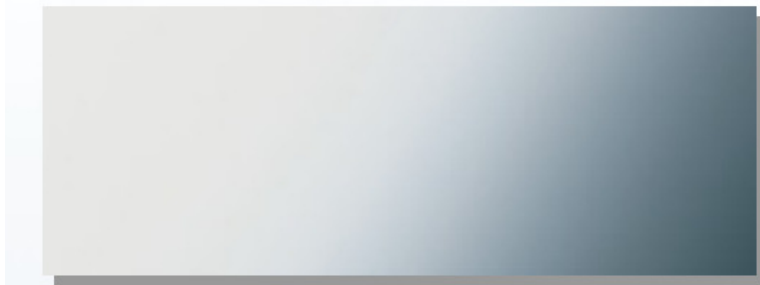
**1P ili 2P** [Slika 33]:

- Jako fino polirano<sup>d</sup>.
- (Fusnota<sup>e</sup>).

Mehaničko poliranje. Postupak ili hrapavost mogu biti naznačeni. Reflektirajuća površina neusmjerene teksture sa velikom jasnoćom slike.

<sup>d</sup> Samo jedna površina, ako narudžbom nije drugačije određeno.

<sup>e</sup> Svakim opisom kvalitete površine karakteristike se mogu razlikovati i potreban je poseban dogovor između kupca i proizvođača oko posebnih zahtjeva (npr. granulacija brusa ili hrapavost).

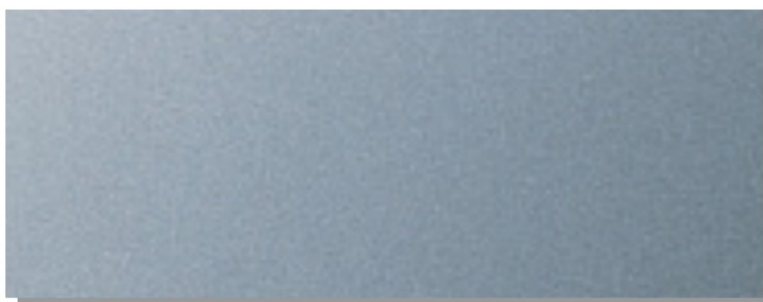


**Slika 33. Površina 2P [17]**

**2F** [Slika 34]:

- Hladno valjano, toplinski obrađeno, naknadno oblikovanje površine na hrapavim valjcima.
- Usmjerena i nereflektirajuća mat površina.

Toplinska obrada u smislu žarenja u inertnoj atmosferi ili žarenja i dekapiranja.

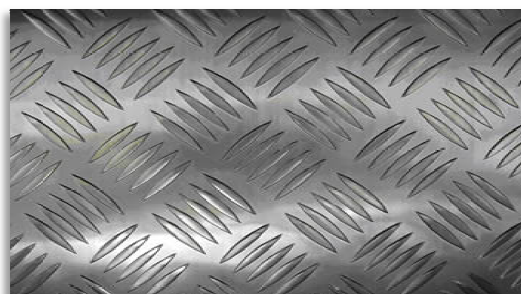


**Slika 34. Površina 2F [17]**

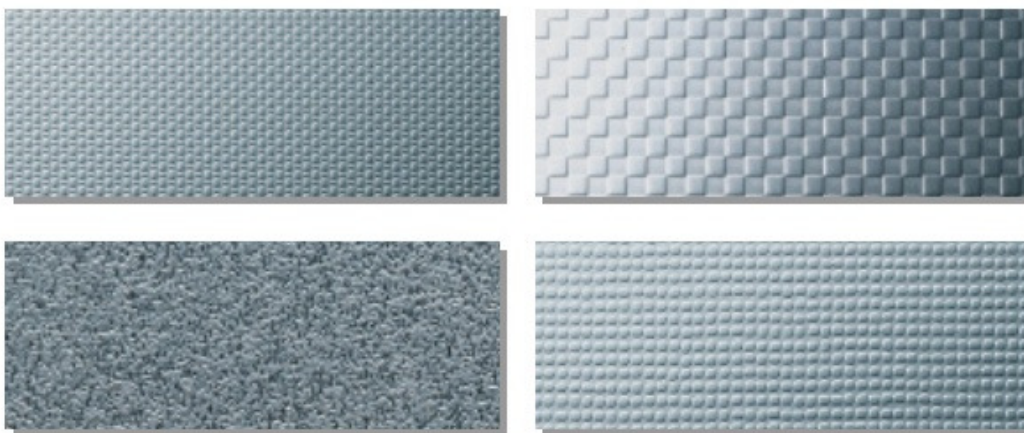
**1M** [Slika 35] i **2M** [Slika 36]:

- Površine raznih tekstura (uzoraka).
- Vrsta texture sukladno dogovoru, druga površina ravna.

Tipična površina za podne ploče (**1M**). Fino-ohrapavljene površine korištene prvenstveno u arhitekturi (**2M**).



**Slika 35. Površina 1M [18]**

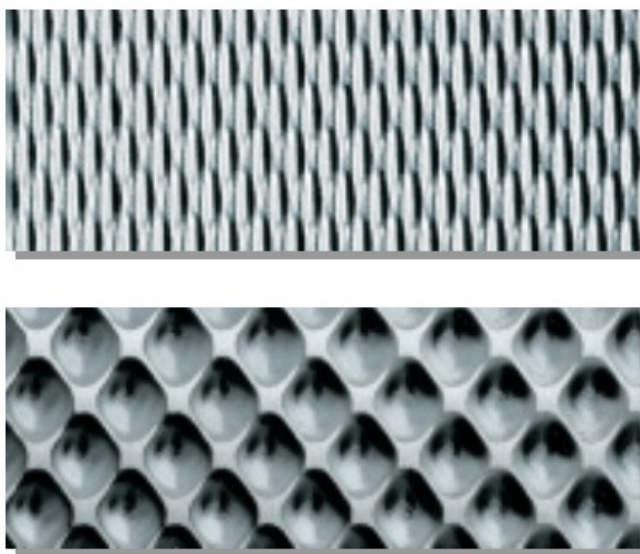


**Slika 36. Površine 2M [17]**

**2W** [Slika 37]:

- Valovite površine.
- Tekstura sukladno dogovoru.

Korištene za povećanje čvrstoće i/ili za izgled.



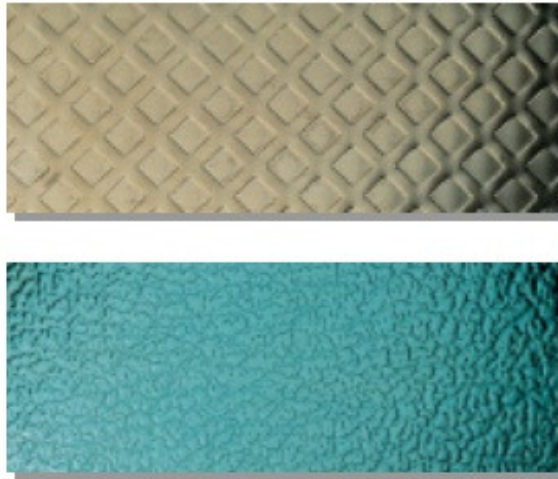
**Slika 37. Površine 2W [17]**

**2L** [Slika 38]:

- Bojene površine<sup>f</sup>.
- Boja sukladno dogovoru.

---

<sup>f</sup> Samo jedna površina, ako narudžbom nije drugačije određeno.



**Slika 38. Površine 2L [17]**

**1S ili 2S :**

- Obložena površina<sup>g</sup>.

Površina obložena na primjer: titan-nitridom (TiN), aluminijem.

---

<sup>g</sup> Samo jedna površina, ako narudžbom nije drugačije određeno.



## 5. MJERENJE HRAPAVOSTI

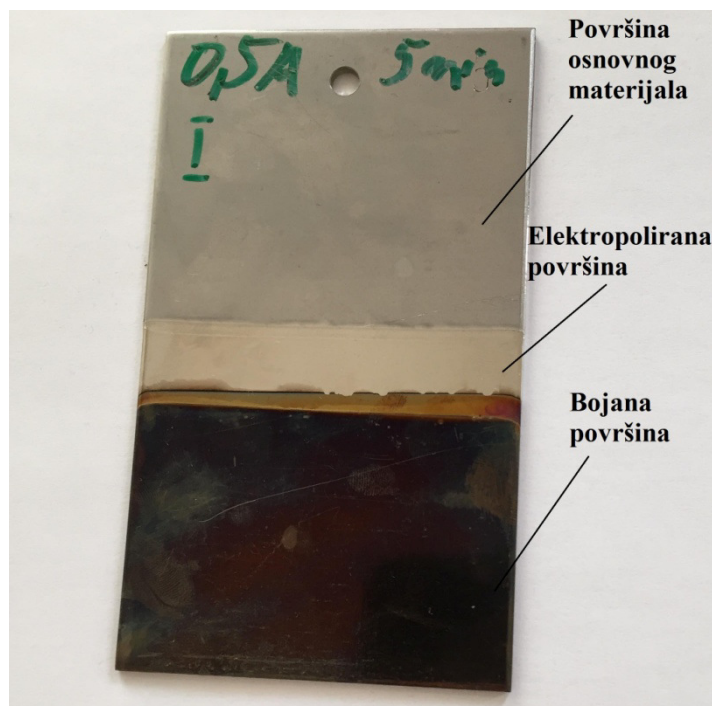
Mjerenje hrapavosti provedeno je 2D uređajem *Surtronic 25* tvrtke *Taylor Hobson* [Slika 39]. Navedeni uređaj podatke o izmjerenoj hrapavosti iznosi parametrima hrapavosti na zaslonu uređaja i dodatnim zapisom profila na računalu, kada je spojen sa računalom.



Slika 39. *Surtronic 25* [19]

### 5.1. Hrapavost na različitim površinama

Mjerenje hrapavosti provedeno je na 6 uzoraka (dimenzija 100 mm x 70 mm x 1,5 mm) svaki uzorak od iste je vrste nehrđajućeg čelika (AISI 304). Svaki uzorak sastojao se od tri vrste površina [Slika 40]: površine osnovnog materijala (dostavno stanje površine), elektropolirane površine i bojane površine. Ispitivanje hrapavosti provelo se na sve tri površine svakog uzorka.



**Slika 40. Različite površine na uzorku**

Bojane površine na uzorcima dobivene su postupkom elektrokemijskog bojenja. Postupak elektrokemijskog bojenja proveden je kemijskim postupkom uranjanja u kiselinu te naknadnim otvrdnjavanjem boje u zasebnoj otopini uz djelovanje istosmjerne struje. Postupak otvrdnjavanja trajao je 5 minuta. Bojane površine uzoraka bile su tamnoplave boje. Razlika obojenih površina uzoraka jedino je u jakosti struji pomoću koje su naknadno otvrdnute boje na površini. Jakosti struje su bili:

- *Uzorak 1:* 0,5 A,
- *Uzorak 2:* 1 A,
- *Uzorak 3:* 5 A,
- *Uzorak 4:* 6 A,
- *Uzorak 5:* 10 A,
- *Uzorak 6:* 14 A.

Hrapavost je mjerena na površinama osnovnog materijala, zatim na elektropoliranim površinama te na kraju obojanim površinama. Na svim površinama provedeno je probno mjerenje, analizom rezultata probnog mjerenja odabrala se granična vrijednost filtra  $\lambda_c$ . Prema tablici 1. odabrala se granična vrijednost filtra te je iznosila  $\lambda_c = 0,8$  mm, to je ujedno i referentna duljina  $l_r$ . Duljina vrednovanja stoga je iznosila  $l_n = 4$  mm.

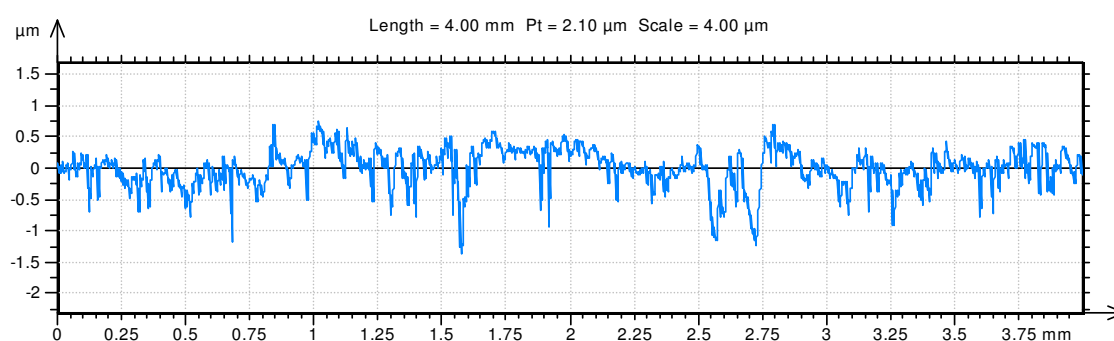
Rezultati mjerenja hrapavosti na uzorcima dani su u nastavku.

### 5.1.1. Površine osnovnog materijala

Površina osnovnog materijala svih uzoraka bila je u dostavnom stanju. Na površini ponegdje mogle su se raspoznati tanke ogrebotine. Prikazani su rezultati mjerenja hrapavosti osnovnog materijala na 6 uzoraka.

#### 5.1.1.1. Uzorak 1

Rezultati mjerenja hrapavosti *Uzorka 1* prikazani su profilom površine [Slika 41] i parametrima.

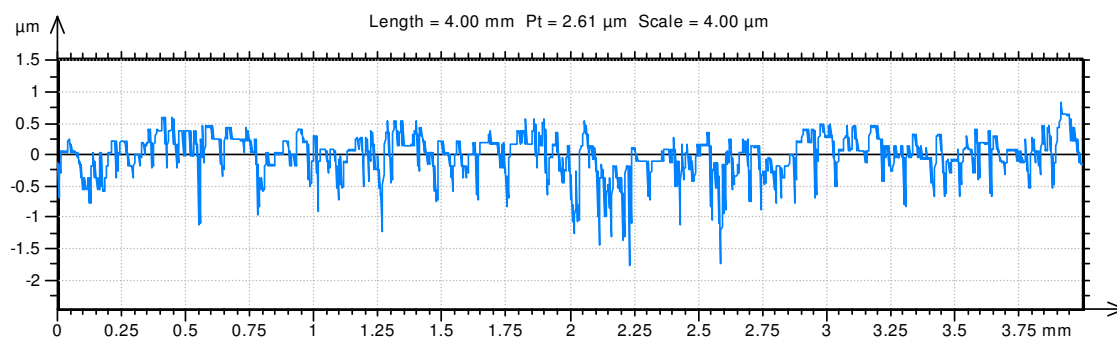


**Slika 41. Profil površine osnovnog materijala *Uzorka 1***

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
$R_p$	0,633 $\mu\text{m}$	$R_{mr}$	84,8 %	$R_{Sm}$	0,0507 mm
$R_v$	1,19 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	0,341 $\mu\text{m}$	$R_{dq}$	3,32 °
$R_z$	1,82 $\mu\text{m}$				
$R_c$	0,594 $\mu\text{m}$				
$R_t$	2,22 $\mu\text{m}$				
$R_a$	0,204 $\mu\text{m}$				
$R_q$	0,288 $\mu\text{m}$				
$R_{sk}$	-1.39				
$R_{ku}$	6.36				

#### 5.1.1.2. Uzorak 2

Rezultati mjerenja hrapavosti osnovnog materijala *Uzorka 2* prikazani su profilom površine [Slika 42] i parametrima.

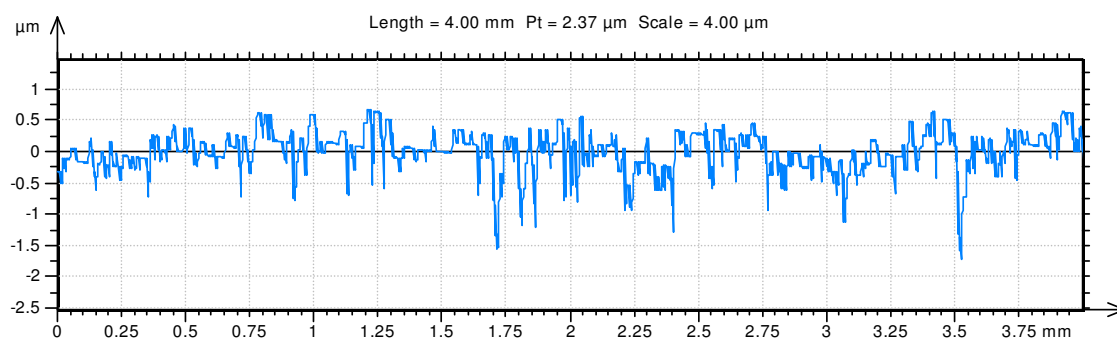


Slika 42. Profil površine osnovnog materijala Uzorka 2

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
$R_p$	0,480 $\mu\text{m}$	$R_{mr}$	92,0 %	$R_{Sm}$	0,0547 mm
$R_v$	1,42 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	0,401 $\mu\text{m}$	$R_{dq}$	3,88 °
$R_z$	1,90 $\mu\text{m}$				
$R_c$	0,718 $\mu\text{m}$				
$R_t$	2,57 $\mu\text{m}$				
$R_a$	0,204 $\mu\text{m}$				
$R_q$	0,282 $\mu\text{m}$				
$R_{sk}$	-1,95				
$R_{ku}$	10,6				

#### 5.1.1.3. Uzorak 3

Rezultati mjerenja hrapavosti osnovnog materijala Uzorka 3 prikazani su profilom površine [Slika 43] i parametrima.



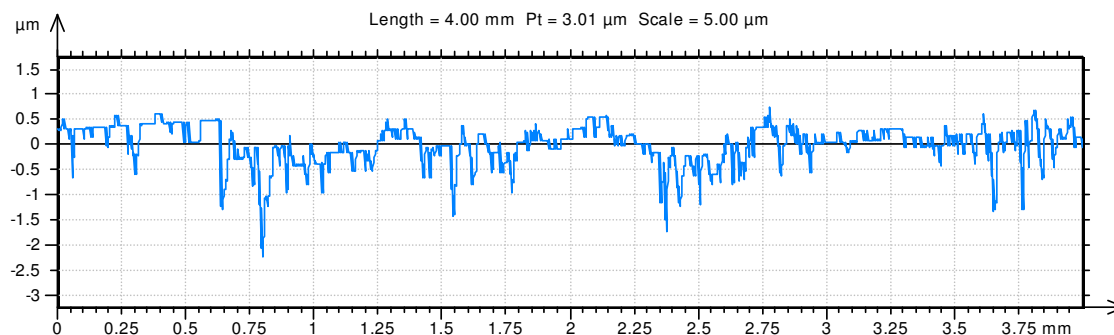
Slika 43. Profil površine osnovnog materijala Uzorka 3

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
$R_p$	0,547 $\mu\text{m}$	$R_{mr}$	90,3 %	$R_{Sm}$	0,0558 mm
$R_v$	1,20 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	0,420 $\mu\text{m}$	$R_{dq}$	3,92 °
$R_z$	1,74 $\mu\text{m}$				
$R_c$	0,745 $\mu\text{m}$				
$R_t$	2,32 $\mu\text{m}$				

$Ra$  0,221  $\mu\text{m}$   
 $Rq$  0,300  $\mu\text{m}$   
 $Rsk$  -1,08  
 $Rku$  5,78

#### 5.1.1.4. Uzorak 4

Rezultati mjerenja hrapavosti *Uzorka 4* prikazani su profilom površine [Slika 44] i parametrima.

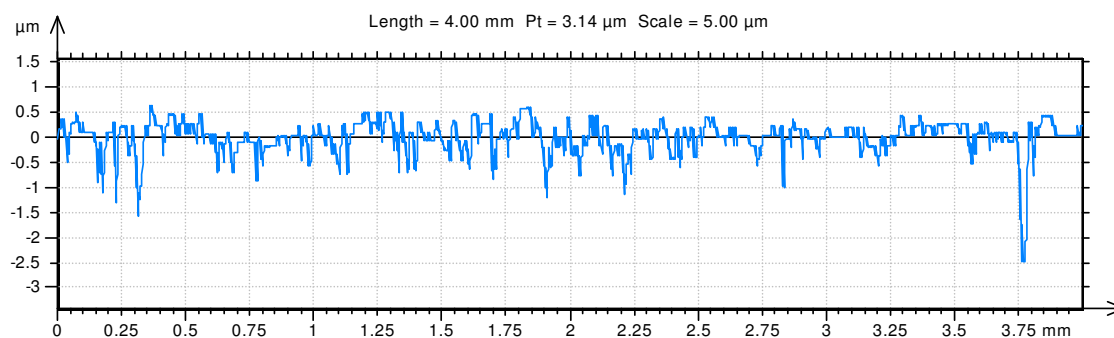


**Slika 44. Profil površine osnovnog materijala *Uzorka 4***

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
$Rp$	0,607 $\mu\text{m}$	$Rmr$	87,7 %	$RSm$	0,0676 mm
$Rv$	1,57 $\mu\text{m}$	$Rdc$	0,321 $\mu\text{m}$	$Rdq$	3,64 °
$Rz$	2,17 $\mu\text{m}$				
$Rc$	0,666 $\mu\text{m}$				
$Rt$	2,66 $\mu\text{m}$				
$Ra$	0,231 $\mu\text{m}$				
$Rq$	0,327 $\mu\text{m}$				
$Rsk$	-1,69				
$Rku$	7,95				

#### 5.1.1.5. Uzorak 5

Rezultati mjerenja hrapavosti *Uzorka 5* prikazani su profilom površine [Slika 45] i parametrima.

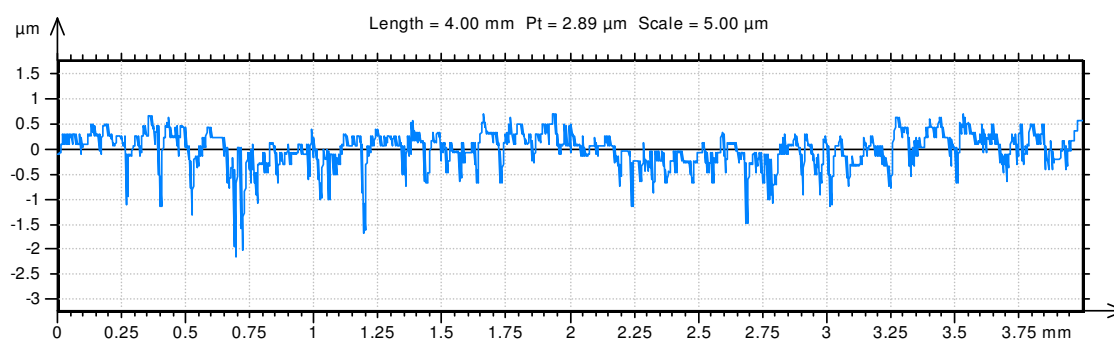


Slika 45. Profil površine osnovnog materijala Uzorka 5

Amplitudni parametri			Parametri udjela materijala			Uzdužni parametri		
$R_p$	0,503	μm	$R_{mr}$	94,0	%	$R_{Sm}$	0,0579	mm
$R_v$	1,00	μm	$R_{dc}$	0,370	μm	$R_{dq}$	3,65	°
$R_z$	1,51	μm						
$R_c$	0,607	μm						
$R_t$	1,73	μm						
$R_a$	0,205	μm						
$R_q$	0,272	μm						
$R_{sk}$	-0,744							
$R_{ku}$	3,98							

## 5.1.1.6. Uzorak 6

Rezultati mjerenja hrapavosti Uzorka 6 prikazani su profilom površine [Slika 46] i parametrima.



Slika 46. Profil površine osnovnog materijala Uzorka 6

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
$R_p$	0,557 $\mu\text{m}$	$R_{mr}$	89,9 %	$R_{Sm}$	0,0445 mm
$R_v$	1,37 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	0,410 $\mu\text{m}$	$R_{dq}$	4,46 °
$R_z$	1,93 $\mu\text{m}$				
$R_c$	0,740 $\mu\text{m}$				
$R_t$	2,59 $\mu\text{m}$				
$R_a$	0,220 $\mu\text{m}$				

$Rq$  0,311  $\mu\text{m}$   
 $Rsk$  -2,12  
 $Rku$  9,92

#### 5.1.1.7. Zapažanja

Rezultati mjerenja hrapavosti osnovnog materijala na uzorcima od 1 do 6 pokazuju neznatna odstupanja među parametrima [Tablica 2, Tablica 3]. Vrijednost parametra  $Ra$  među uzorcima kreće se oko 0,2  $\mu\text{m}$ , a vrijednost parametra  $Rz$  među uzorcima kreće se oko 2  $\mu\text{m}$ . Srednji korak elemenata profila  $RSm$  među uzorcima iznosi oko 5 desetinki milimetra. Svi uzorci imaju negativnu asimetriju profila hrapavosti ( $Rsk < 0$ ), te vrijednosti parametara  $Rku$  veće od 3. Udio materijala u profilu kod svih je uzoraka oko 90 %.

Svi parametri ne razlikuju se mnogo među uzorcima. Rezultati mjerenja hrapavosti ukazuju da se radi o površinama koje imaju ujednačenu kvalitetu.

**Tablica 2. Hrapavost osn. materijala (Uzorci 1 do 3)**

Uzorak 1		Uzorak 2		Uzorak 3	
$Rp$	0,633 $\mu\text{m}$	$Rp$	0,48 $\mu\text{m}$	$Rp$	0,547 $\mu\text{m}$
$Rv$	1,19 $\mu\text{m}$	$Rv$	1,42 $\mu\text{m}$	$Rv$	1,20 $\mu\text{m}$
$Rz$	1,82 $\mu\text{m}$	$Rz$	1,9 $\mu\text{m}$	$Rz$	1,74 $\mu\text{m}$
$Rc$	0,594 $\mu\text{m}$	$Rc$	0,718 $\mu\text{m}$	$Rc$	0,745 $\mu\text{m}$
$Rt$	2,22 $\mu\text{m}$	$Rt$	2,57 $\mu\text{m}$	$Rt$	2,32 $\mu\text{m}$
$Ra$	0,204 $\mu\text{m}$	$Ra$	0,204 $\mu\text{m}$	$Ra$	0,221 $\mu\text{m}$
$Rq$	0,288 $\mu\text{m}$	$Rq$	0,282 $\mu\text{m}$	$Rq$	0,300 $\mu\text{m}$
$Rsk$	-1,39	$Rsk$	-1,95	$Rsk$	-1,08
$Rku$	6,36	$Rku$	10,6	$Rku$	5,78
$RSm$	0,051 mm	$RSm$	0,055 mm	$RSm$	0,056 mm
$Rdq$	3,32 °	$Rdq$	3,88 °	$Rdq$	3,92 °
$Rmr$	84,8 %	$Rmr$	92 %	$Rmr$	90,3 %
$Rdc$	0,341 $\mu\text{m}$	$Rdc$	0,401 $\mu\text{m}$	$Rdc$	0,42 $\mu\text{m}$

**Tablica 3. Hrapavost osn. materijala (Uzorci 4 do 6)**

Uzorak 4		Uzorak 5		Uzorak 6	
$Rp$	0,607 $\mu\text{m}$	$Rp$	0,503 $\mu\text{m}$	$Rp$	0,557 $\mu\text{m}$
$Rv$	0,57 $\mu\text{m}$	$Rv$	1,00 $\mu\text{m}$	$Rv$	1,37 $\mu\text{m}$
$Rz$	2,17 $\mu\text{m}$	$Rz$	1,51 $\mu\text{m}$	$Rz$	1,93 $\mu\text{m}$
$Rc$	0,666 $\mu\text{m}$	$Rc$	0,607 $\mu\text{m}$	$Rc$	0,74 $\mu\text{m}$
$Rt$	2,66 $\mu\text{m}$	$Rt$	1,73 $\mu\text{m}$	$Rt$	2,59 $\mu\text{m}$
$Ra$	0,231 $\mu\text{m}$	$Ra$	0,205 $\mu\text{m}$	$Ra$	0,22 $\mu\text{m}$
$Rq$	0,327 $\mu\text{m}$	$Rq$	0,272 $\mu\text{m}$	$Rq$	0,311 $\mu\text{m}$
$Rsk$	-1,69	$Rsk$	-0,744	$Rsk$	-2,12
$Rku$	7,95	$Rku$	3,98	$Rku$	9,92
$RSm$	0,0676 mm	$RSm$	0,0579 mm	$RSm$	0,0445 mm
$Rdq$	3,64 °	$Rdq$	3,65 °	$Rdq$	4,46 °
$Rmr$	87,7 %	$Rmr$	94,0 %	$Rmr$	89,9 %
$Rdc$	0,321 $\mu\text{m}$	$Rdc$	0,370 $\mu\text{m}$	$Rdc$	0,41 $\mu\text{m}$

Površine i njihove kvalitete definirane normom "EN 10088-2:2014: Nehrdajući čelici -- 2. dio: Tehnički uvjeti isporuke za limove/ploče i trake od korozijski postojanih čelika za opće namjene" nisu opisane parametrima hrapavosti. Međutim, postoje podaci koji površine i njihove kvalitete definirane normom EN 10088-2:2014 prikazuju parametrom hrapavosti. Kvaliteta površina prema podacima [20, 21] prikazana je prvenstveno parametrom  $Ra$ .

Kvalitete površina uzoraka osnovnog materijala (1 do 6) prema podacima izmjerenih hrapavosti u ovom radu, svrstale bi se u kvalitete 1K ili 2K.

### 5.1.2. Elektropolirane površine

Elektropoliranje je elektrokemijski postupak obrade površine kod kojeg se ioni metala elektrolitski skidaju sa površine obrađivanog metala [22]. Elektropolirane površine na uzorcima bile su najsjajnije površine.

Prikazani su rezultati mjerenja hrapavosti elektropoliranih površina na 6 uzoraka.

#### 5.1.2.1. Uzorak 1

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
<i>Rp</i>	0,497 μm	<i>Rmr</i>	95,8 %	<i>RSm</i>	0,327 mm
<i>Rv</i>	0,460 μm	<i>Rdc</i>	0,449 μm	<i>Rdq</i>	1,43 °
<i>Rz</i>	0,957 μm				
<i>Rc</i>	0,718 μm				
<i>Rt</i>	1,19 μm				
<i>Ra</i>	0,187 μm				
<i>Rq</i>	0,227 μm				
<i>Rsk</i>	0,182				
<i>Rku</i>	2,52				

#### 5.1.2.2. Uzorak 2

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
<i>Rp</i>	0,567 μm	<i>Rmr</i>	38,2 %	<i>RSm</i>	0,329 mm
<i>Rv</i>	0,817 μm	<i>Rdc</i>	0,561 μm	<i>Rdq</i>	1,69 °
<i>Rz</i>	1,38 μm				
<i>Rc</i>	0,991 μm				
<i>Rt</i>	2,53 μm				
<i>Ra</i>	0,267 μm				
<i>Rq</i>	0,341 μm				
<i>Rsk</i>	-1,11				
<i>Rku</i>	6,67				

#### 5.1.2.3. Uzorak 3

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
<i>Rp</i>	1,33 μm	<i>Rmr</i>	24,3 %	<i>RSm</i>	0,297 mm
<i>Rv</i>	1,63 μm	<i>Rdc</i>	1,09 μm	<i>Rdq</i>	2,47 °
<i>Rz</i>	2,96 μm				
<i>Rc</i>	1,94 μm				
<i>Rt</i>	3,66 μm				
<i>Ra</i>	0,552 μm				



*Rq* 0,671  $\mu\text{m}$   
*Rsk* -0,641  
*Rku* 3,11

#### 5.1.2.4. Uzorak 4

Amplitudni parametri			Parametri udjela materijala			Uzdužni parametri		
<i>Rp</i>	1,01	$\mu\text{m}$	<i>Rmr</i>	25,8	%	<i>RSm</i>	0,232	mm
<i>Rv</i>	1,50	$\mu\text{m}$	<i>Rdc</i>	1,06	$\mu\text{m}$	<i>Rdq</i>	2,27	°
<i>Rz</i>	2,51	$\mu\text{m}$						
<i>Rc</i>	1,49	$\mu\text{m}$						
<i>Rt</i>	3,08	$\mu\text{m}$						
<i>Ra</i>	0,499	$\mu\text{m}$						
<i>Rq</i>	0,610	$\mu\text{m}$						
<i>Rsk</i>	-0,579							
<i>Rku</i>	2,71							

#### 5.1.2.5. Uzorak 5

Amplitudni parametri			Parametri udjela materijala			Uzdužni parametri		
<i>Rp</i>	0,870	$\mu\text{m}$	<i>Rmr</i>	39,5	%	<i>RSm</i>	0,256	mm
<i>Rv</i>	0,793	$\mu\text{m}$	<i>Rdc</i>	0,497	$\mu\text{m}$	<i>Rdq</i>	1,81	°
<i>Rz</i>	1,66	$\mu\text{m}$						
<i>Rc</i>	0,975	$\mu\text{m}$						
<i>Rt</i>	2,35	$\mu\text{m}$						
<i>Ra</i>	0,312	$\mu\text{m}$						
<i>Rq</i>	0,390	$\mu\text{m}$						
<i>Rsk</i>	-0,471							
<i>Rku</i>	6,00							

#### 5.1.2.6. Uzorak 6

Amplitudni parametri			Parametri udjela materijala			Uzdužni parametri		
<i>Rp</i>	1,18	$\mu\text{m}$	<i>Rmr</i>	29,4	%	<i>RSm</i>	0,384	mm
<i>Rv</i>	1,30	$\mu\text{m}$	<i>Rdc</i>	1,18	$\mu\text{m}$	<i>Rdq</i>	1,15	°
<i>Rz</i>	2,48	$\mu\text{m}$						
<i>Rc</i>	1,89	$\mu\text{m}$						
<i>Rt</i>	3,17	$\mu\text{m}$						
<i>Ra</i>	0,565	$\mu\text{m}$						
<i>Rq</i>	0,682	$\mu\text{m}$						
<i>Rsk</i>	-0,395							
<i>Rku</i>	2,37							

## 5.1.2.7. Zapažanja

Tablicom 4 i tablicom 5 prikazane su vrijednosti parametara hrapavosti izmjerenih na elektropoliranim površinama. Vrijednosti parametra  $R_z$  kreću se od gotovo 1  $\mu\text{m}$  (Uzorak 1) do gotovo 3  $\mu\text{m}$  (Uzorak 3). Parametar  $R_a$  također ima najmanju vrijednost kod Uzorka 1 i iznosi 0,187  $\mu\text{m}$ , kod ostalih uzoraka  $R_a$  se kreće od 267 mikrometara (Uzorak 2) do 550  $\mu\text{m}$  (Uzorak 3). Svi uzorci pokazuju negativnu asimetriju osim Uzorka 1. Na uzorcima 2, 3 i 5 primjećuje se vrijednost parametra  $R_{ku} > 3$ .

Tablica 4. Hrapavost elektropoliranih površina (Uzorci 1 do 3)

Uzorak 1		Uzorak 2		Uzorak 3	
$R_p$	0,497 $\mu\text{m}$	$R_p$	0,567 $\mu\text{m}$	$R_p$	1,33 $\mu\text{m}$
$R_v$	0,460 $\mu\text{m}$	$R_v$	0,817 $\mu\text{m}$	$R_v$	1,63 $\mu\text{m}$
$R_z$	0,957 $\mu\text{m}$	$R_z$	1,38 $\mu\text{m}$	$R_z$	2,96 $\mu\text{m}$
$R_c$	0,718 $\mu\text{m}$	$R_c$	0,991 $\mu\text{m}$	$R_c$	1,94 $\mu\text{m}$
$R_t$	1,19 $\mu\text{m}$	$R_t$	2,53 $\mu\text{m}$	$R_t$	3,66 $\mu\text{m}$
$R_a$	0,187 $\mu\text{m}$	$R_a$	0,267 $\mu\text{m}$	$R_a$	0,552 $\mu\text{m}$
$R_q$	0,227 $\mu\text{m}$	$R_q$	0,341 $\mu\text{m}$	$R_q$	0,671 $\mu\text{m}$
$R_{sk}$	0,182	$R_{sk}$	-1,11	$R_{sk}$	-0,641
$R_{ku}$	2,52	$R_{ku}$	6,67	$R_{ku}$	3,11
$R_{Sm}$	0,327 mm	$R_{Sm}$	0,329 mm	$R_{Sm}$	0,297 mm
$R_{dq}$	1,43 °	$R_{dq}$	1,69 °	$R_{dq}$	2,47 °
$R_{mr}$	95,8 %	$R_{mr}$	38,2 %	$R_{mr}$	24,3 %
$R_{dc}$	0,449 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	0,561 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	1,09 $\mu\text{m}$

Tablica 5. Hrapavost elektropoliranih površina (Uzorci 4 do 6)

Uzorak 4		Uzorak 5		Uzorak 6	
$R_p$	1,01 $\mu\text{m}$	$R_p$	0,870 $\mu\text{m}$	$R_p$	1,18 $\mu\text{m}$
$R_v$	1,5 $\mu\text{m}$	$R_v$	0,793 $\mu\text{m}$	$R_v$	1,30 $\mu\text{m}$
$R_z$	2,51 $\mu\text{m}$	$R_z$	1,66 $\mu\text{m}$	$R_z$	2,48 $\mu\text{m}$
$R_c$	1,49 $\mu\text{m}$	$R_c$	0,975 $\mu\text{m}$	$R_c$	1,89 $\mu\text{m}$
$R_t$	3,08 $\mu\text{m}$	$R_t$	2,35 $\mu\text{m}$	$R_t$	3,17 $\mu\text{m}$
$R_a$	0,499 $\mu\text{m}$	$R_a$	0,312 $\mu\text{m}$	$R_a$	0,565 $\mu\text{m}$
$R_q$	0,61 $\mu\text{m}$	$R_q$	0,390 $\mu\text{m}$	$R_q$	0,682 $\mu\text{m}$
$R_{sk}$	-0,579	$R_{sk}$	-0,471	$R_{sk}$	-0,395
$R_{ku}$	2,71	$R_{ku}$	6,00	$R_{ku}$	2,37
$R_{Sm}$	0,232 mm	$R_{Sm}$	0,256 mm	$R_{Sm}$	0,384 mm
$R_{dq}$	2,27 °	$R_{dq}$	1,81 °	$R_{dq}$	1,15 °
$R_{mr}$	25,8 %	$R_{mr}$	39,5 %	$R_{mr}$	29,4 %
$R_{dc}$	1,06 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	0,497 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	1,18 $\mu\text{m}$

Parametri elektropoliranih površina pokazuju veća međusobna odstupanja u usporedbi sa parametrima površina kod osnovnog materijala čije vrijednosti su ujednačenije i kod kojih nema većih međusobnih odstupanja. Postupak kojem su dobivene površine osnovnog materijala uzoraka dao je jednoličniju kvalitetu površine u s obzirom na površine dobivene elektropoliranjem. Kvalitete elektropoliranih površina uzoraka svrstale bi se u površine 2D norme EN 10088-2:2014.

### 5.1.3. Bojene površine

Bojane površine na uzorcima dobivene su postupkom elektrokemijskog bojenja. Boje površina na svim uzorcima bile su jednake (tamno plave s malo odsjaja). Nakon bojenja, površine su podvrgnute postupku otvrdnjavanja koji se kod svakog pojedinog uzorka razlikovao u jakosti struje. Rezultati mjerenja hrapavosti dani su u nastavku.

#### 5.1.3.1. Uzorak 1 - 0,5 A

Amplitudni parametri	Parametri udjela materijala	Uzdužni parametri
<i>Rp</i> 0,426 μm	<i>Rmr</i> 75,5 %	<i>RSm</i> 0,57 mm
<i>Rv</i> 0,474 μm	<i>Rdc</i> 0,455 μm	<i>Rdq</i> 1,71 °
<i>Rz</i> 0,90 μm		
<i>Rc</i> 1,15 μm		
<i>Rt</i> 3,78 μm		
<i>Ra</i> 0,144 μm		
<i>Rq</i> 0,472 μm		
<i>Rsk</i> -4,68		
<i>Rku</i> 25,7		

#### 5.1.3.2. Uzorak 2 - 1 A

Amplitudni parametri	Parametri udjela materijala	Uzdužni parametri
<i>Rp</i> 0,590 μm	<i>Rmr</i> 91,0 %	<i>RSm</i> 0,231 mm
<i>Rv</i> 0,843 μm	<i>Rdc</i> 0,509 μm	<i>Rdq</i> 1,92 °
<i>Rz</i> 1,43 μm		
<i>Rc</i> 0,841 μm		
<i>Rt</i> 1,80 μm		
<i>Ra</i> 0,259 μm		
<i>Rq</i> 0,327 μm		
<i>Rsk</i> -0,719		
<i>Rku</i> 3,78		

#### 5.1.3.3. Uzorak 3 - 5 A

Amplitudni parametri	Parametri udjela materijala	Uzdužni parametri
<i>Rp</i> 1,24 μm	<i>Rmr</i> 31,6 %	<i>RSm</i> 0,173 mm
<i>Rv</i> 1,64 μm	<i>Rdc</i> 1,20 μm	<i>Rdq</i> 2,60 °
<i>Rz</i> 2,88 μm		
<i>Rc</i> 1,55 μm		
<i>Rt</i> 3,44 μm		
<i>Ra</i> 0,501 μm		
<i>Rq</i> 0,628 μm		
<i>Rsk</i> -0,256		
<i>Rku</i> 2,92		

#### 5.1.3.4. Uzorak 4 - 6 A

Amplitudni parametri	Parametri udjela materijala	Uzdužni parametri
----------------------	-----------------------------	-------------------

<i>Rp</i>	0,800 $\mu\text{m}$	<i>Rmr</i>	57,9 %	<i>RSm</i>	0,163 mm
<i>Rv</i>	0,797 $\mu\text{m}$	<i>Rdc</i>	0,681 $\mu\text{m}$	<i>Rdq</i>	2,30 °
<i>Rz</i>	1,60 $\mu\text{m}$				
<i>Rc</i>	0,912 $\mu\text{m}$				
<i>Rt</i>	2,07 $\mu\text{m}$				
<i>Ra</i>	0,311 $\mu\text{m}$				
<i>Rq</i>	0,379 $\mu\text{m}$				
<i>Rsk</i>	0,163				
<i>Rku</i>	2,43				

#### 5.1.3.5. Uzorak 5 - 10 A

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
<i>Rp</i>	0,273 $\mu\text{m}$	<i>Rmr</i>	100 %	<i>RSm</i>	0,00612 mm
<i>Rv</i>	0,453 $\mu\text{m}$	<i>Rdc</i>	0,210 $\mu\text{m}$	<i>Rdq</i>	2,03 °
<i>Rz</i>	0,727 $\mu\text{m}$				
<i>Rc</i>	0,290 $\mu\text{m}$				
<i>Rt</i>	0,930 $\mu\text{m}$				
<i>Ra</i>	0,108 $\mu\text{m}$				
<i>Rq</i>	0,134 $\mu\text{m}$				
<i>Rsk</i>	-0,294				
<i>Rku</i>	2,87				

#### 5.1.3.6. Uzorak 6 - 14 A

Amplitudni parametri		Parametri udjela materijala		Uzdužni parametri	
<i>Rp</i>	0,970 $\mu\text{m}$	<i>Rmr</i>	7,48 %	<i>RSm</i>	0,133 mm
<i>Rv</i>	1,24 $\mu\text{m}$	<i>Rdc</i>	0,766 $\mu\text{m}$	<i>Rdq</i>	2,74 °
<i>Rz</i>	2,21 $\mu\text{m}$				
<i>Rc</i>	1,05 $\mu\text{m}$				
<i>Rt</i>	3,16 $\mu\text{m}$				
<i>Ra</i>	0,368 $\mu\text{m}$				
<i>Rq</i>	0,465 $\mu\text{m}$				
<i>Rsk</i>	-0,495				
<i>Rku</i>	2,91				

## 5.1.3.7. Zapažanja

Rezultati ispitivanja hrapavosti na bojnim površinama prikazani na tablici 6 i tablici 7. Vrijednosti parametra  $R_z$  iznose od 0,727  $\mu\text{m}$  do 2,88  $\mu\text{m}$ . Iznos parametra  $R_a$  kreće se od 0,108  $\mu\text{m}$  (Uzorak 5) do 0,501  $\mu\text{m}$  (Uzorak 3). Vrijednost parametra  $R_t$  najmanja je kod Uzorka 5 i iznosi 0,930  $\mu\text{m}$ , dok kod ostalih površina iznosi od 2  $\mu\text{m}$  do 4  $\mu\text{m}$ . Sve površine uzoraka imaju negativnu asimetriju dok je kod Uzorka 4 ona pozitivna ( $R_{sk} > 0$ ). Vrijednost parametra  $R_{ku}$  kreće se oko 3, dok je kod Uzorka 1 on izraženiji i iznosi 25,7.

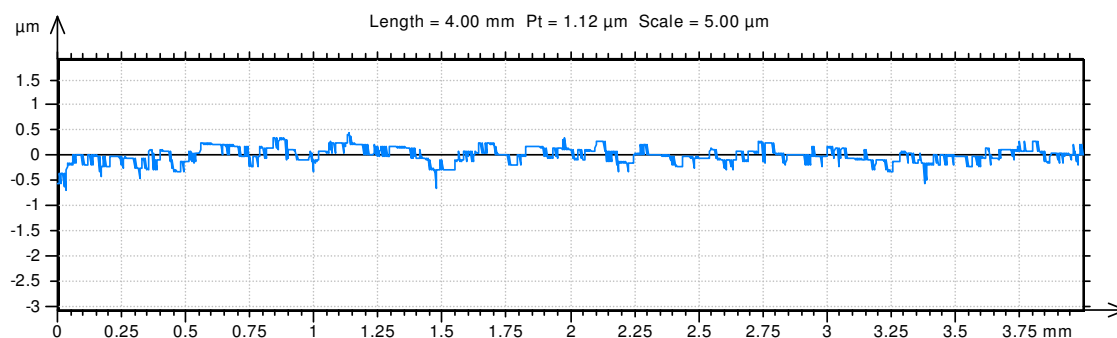
Tablica 6. Hrapavost bojnih površina (Uzorci 1 do 3)

Uzorak 1 - 0,5 A		Uzorak 2 - 1 A		Uzorak 3 - 5 A	
$R_p$	0,426 $\mu\text{m}$	$R_p$	0,590 $\mu\text{m}$	$R_p$	1,24 $\mu\text{m}$
$R_v$	0,474 $\mu\text{m}$	$R_v$	0,843 $\mu\text{m}$	$R_v$	1,64 $\mu\text{m}$
$R_z$	0,90 $\mu\text{m}$	$R_z$	1,43 $\mu\text{m}$	$R_z$	2,88 $\mu\text{m}$
$R_c$	1,15 $\mu\text{m}$	$R_c$	0,841 $\mu\text{m}$	$R_c$	1,55 $\mu\text{m}$
$R_t$	3,78 $\mu\text{m}$	$R_t$	1,80 $\mu\text{m}$	$R_t$	3,44 $\mu\text{m}$
$R_a$	0,144 $\mu\text{m}$	$R_a$	0,259 $\mu\text{m}$	$R_a$	0,501 $\mu\text{m}$
$R_q$	0,472 $\mu\text{m}$	$R_q$	0,327 $\mu\text{m}$	$R_q$	0,628 $\mu\text{m}$
$R_{sk}$	-4,68	$R_{sk}$	-0,719	$R_{sk}$	-0,256
$R_{ku}$	25,7	$R_{ku}$	3,78	$R_{ku}$	2,92
$R_{Sm}$	0,357 mm	$R_{Sm}$	0,231 mm	$R_{Sm}$	0,173 mm
$R_{dq}$	1,71 °	$R_{dq}$	1,92 °	$R_{dq}$	2,60 °
$R_{mr}$	75,5 %	$R_{mr}$	91,0 %	$R_{mr}$	31,6 %
$R_{dc}$	0,455 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	0,509 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	1,20 $\mu\text{m}$

Tablica 7. Hrapavost bojnih površina (Uzorci 4 do 6)

Uzorak 4 - 6 A		Uzorak 5 - 10 A		Uzorak 6 - 14 A	
$R_p$	0,800 $\mu\text{m}$	$R_p$	0,273 $\mu\text{m}$	$R_p$	0,970 $\mu\text{m}$
$R_v$	0,797 $\mu\text{m}$	$R_v$	0,453 $\mu\text{m}$	$R_v$	1,24 $\mu\text{m}$
$R_z$	1,60 $\mu\text{m}$	$R_z$	0,727 $\mu\text{m}$	$R_z$	2,21 $\mu\text{m}$
$R_c$	0,912 $\mu\text{m}$	$R_c$	0,290 $\mu\text{m}$	$R_c$	1,05 $\mu\text{m}$
$R_t$	2,07 $\mu\text{m}$	$R_t$	0,930 $\mu\text{m}$	$R_t$	3,16 $\mu\text{m}$
$R_a$	0,311 $\mu\text{m}$	$R_a$	0,108 $\mu\text{m}$	$R_a$	0,368 $\mu\text{m}$
$R_q$	0,379 $\mu\text{m}$	$R_q$	0,134 $\mu\text{m}$	$R_q$	0,465 $\mu\text{m}$
$R_{sk}$	0,163	$R_{sk}$	-0,294	$R_{sk}$	-0,495
$R_{ku}$	2,43	$R_{ku}$	2,87	$R_{ku}$	2,91
$R_{Sm}$	0,163 mm	$R_{Sm}$	0,00612 mm	$R_{Sm}$	0,133 mm
$R_{dq}$	2,30 °	$R_{dq}$	2,03 °	$R_{dq}$	2,74 °
$R_{mr}$	57,9 %	$R_{mr}$	100 %	$R_{mr}$	7,48 %
$R_{dc}$	0,681 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	0,210 $\mu\text{m}$	$R_{dc}$	0,766 $\mu\text{m}$

Iz rezultata mjerenja hrapavosti bojnih površina vidljivo je isticanje Uzorka 5 koji ima najkvalitetniju površinu. Profil površine Uzorka 5 prikazan je na slici 49. Kod ovog uzorka korištena je jakost struje od 10 A.



**Slika 47. Profil bojane površine, Uzorak 5 (10 A)**

Bojene površine prema normi *EN 10088-2:2014* nose oznaku *2L*.

Kada bi se usporedila hrapavost elektropolirane površine i bojene površine svakog pojedinog uzorka kroz parametre  $R_a$  i  $R_z$ , niže vrijednosti parametara vidjive su kod bojanih površina [Tablica 8].

**Tablica 8. Vrijednosti parametara  $R_a$  i  $R_z$  kod elektropoliranih i bojanih površina**

$R_a$ u $\mu\text{m}$			$R_z$ u $\mu\text{m}$		
	Elektropolirano	Bojeno		Elektropolirano	Bojeno
<i>Uzorak 1</i>	0,187	0,144	<i>Uzorak 1</i>	0,957	0,90
<i>Uzorak 2</i>	0,267	0,259	<i>Uzorak 2</i>	1,38	1,43
<i>Uzorak 3</i>	0,552	0,501	<i>Uzorak 3</i>	2,96	2,88
<i>Uzorak 4</i>	0,499	0,311	<i>Uzorak 4</i>	2,51	1,60
<i>Uzorak 5</i>	0,312	0,108	<i>Uzorak 5</i>	1,66	0,727
<i>Uzorak 6</i>	0,565	0,368	<i>Uzorak 6</i>	2,48	2,21

Vrijednosti parametra  $R_a$  kod svih ispitivanih površina (površina osnovnog materijala, elektropoliranih površina i bojanih površina) kreće se od 0,1  $\mu\text{m}$  do 0,5  $\mu\text{m}$ , a vrijednost parametra  $R_z$  kreće od 1  $\mu\text{m}$  do 3  $\mu\text{m}$  kod svih ispitivanih površina. Parametar  $RS_m$  kod površina osnovnog materijala kreće se oko 0,05 mm, kod elektropoliranih površina oko 0,3 mm, a kod bojanih površina različito: od 0,006 mm do 0,357 mm.

## 5.2. Hrapavost posebnih površina

U ovom dijelu mjerenja hrapavosti mjerena je hrapavost površina nehrđajućih čelika na 4 različita materijala. Od svakog materijala pripremljena su po tri uzorka te je provedeno mjerenje na svakom od uzoraka. Hrapavost je prikazana parametrima  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rt$  i  $Rq$ . Vrijednosti parametara hrapavosti prikazane u nastavku predstavljaju aritmetičke sredine parametara izmjerenih na uzorcima iste kvalitete materijala.

### 5.2.1. Uzorak A

$Ra$  - parametar hrapavosti površine *Uzorka A* poprima vrijednosti od 0,1  $\mu\text{m}$  do 0,5  $\mu\text{m}$  i prema *EN 10088-2:2014* površina *Uzorka A* spada u površinu *2B*. Tablicom 9 prikazane su vrijednosti i drugih parametara.

**Tablica 9. Parametri hrapavosti *Uzorka A***

<i>Uzorak A</i>	
$Ra$ u $\mu\text{m}$	0,267
$Rz$ u $\mu\text{m}$	1,62
$Rt$ u $\mu\text{m}$	2,65
$Rq$ u $\mu\text{m}$	0,37

### 5.2.2. Uzorak B

$Ra$  - parametar hrapavosti površine *Uzorka B* poprima vrijednosti od 0,2  $\mu\text{m}$  do 1,0  $\mu\text{m}$  i prema *EN 10088-2:2014* površina *Uzorka B* spada u površinu *1J* ili *2J*. Tablicom 10 prikazane su vrijednosti i drugih parametara.

**Tablica 10. Parametri hrapavosti *Uzorka B***

<i>Uzorak B</i>	
$Ra$ u $\mu\text{m}$	0,283
$Rz$ u $\mu\text{m}$	1,623
$Rt$ u $\mu\text{m}$	2,09
$Rq$ u $\mu\text{m}$	1,05

### 5.2.3. Uzorak C

$Ra$  - parametar hrapavosti površine *Uzorka C* poprima vrijednosti manje od  $0,5 \mu\text{m}$  i prema *EN 10088-2:2014* površina *Uzorka C* spada u površinu *1K* ili *2K*. Tablicom 11 prikazane su vrijednosti i drugih parametara.

**Tablica 11. Parametri hrapavosti *Uzorka C***

<i>Uzorak C</i>	
$Ra$ u $\mu\text{m}$	0,17
$Rz$ u $\mu\text{m}$	1,53
$Rt$ u $\mu\text{m}$	2,52
$Rq$ u $\mu\text{m}$	0,243

### 5.2.4. Uzorak D

$Ra$  - parametar hrapavosti površine *Uzorka D* poprima vrijednosti manje od  $0,1 \mu\text{m}$  i prema *EN 10088-2:2014* površina *Uzorka D* spada u površinu *1P* ili *2P*. Tablicom 12 prikazane su vrijednosti i drugih parametara.

**Tablica 12. Parametri hrapavosti *Uzorka D***

<i>Uzorak D</i>	
$Ra$ u $\mu\text{m}$	0,033
$Rz$ u $\mu\text{m}$	0,25
$Rt$ u $\mu\text{m}$	0,52
$Rq$ u $\mu\text{m}$	0,043



## 6. ZAKLJUČAK

Nehrđajući čelici danas imaju veliku primjenu u raznim industrijama. Razlog velikog korištenja nehrđajućih čelika je svojstvo otpornosti na koroziju. Nehrđajući čelik otporan je na koroziju zbog svojstva samopasivacije. Kvaliteta površine nehrđajućeg čelika ima veliki značaj, kako u korozijskoj otpornosti tako i zbog izgleda same površine. Zbog velike primjene nehrđajućih čelika javljaju se različiti zahtjevi na kvalitetu površina, čistoću, boju i odsjaj površina.

Kvalitete površina na kojima je provedeno mjerenje hrapavosti razlikovale su se ponajprije izgledom površine i odsjajem. Mjerenjem hrapavosti utvrđene su različite vrijednosti parametara: kod površina nehrđajućeg čelika u dostavnom stanju, kod površina dobivene naknadnim elektropoliranjem, te bojenih površina nakon elektropoliranja. Površine iako izgledom i odsjajem drugačije, slične su i sa malim razlikama među parametrima hrapavosti, no ipak postoje razlike.

Površine kojima je kvaliteta različito opisana normom *EN 10088-2:2014* mogu imati slične vrijednosti parametara hrapavosti. Također površine sa sličnim vrijednostima parametara hrapavosti  $R_a$  i  $R_z$  mogu pripadati u više skupina površina opisane normom *EN 10088-2:2014*.

Zbog postojanja mnogo različitih kvaliteta površine, kvalitetu površine potrebno je definirati prvenstveno parametrima hrapavosti te uz parametre hrapavosti opisati i izgled površine.

## LITERATURA

- [1] Opalić M., Kljajin M., Sebastijanović S.: Tehničko crtanje Sveučilišni udžbenik, Zrinski d.d., Čakovec, 2003.
- [2] HRN EN ISO 4287:2008/A1:2010: *Geometrijske specifikacije proizvoda (GSP) -- Tekstura površine: Metoda snimanja profila -- Nazivlje, definicije i parametri teksture površine -- Amandman 1: Broj izbrojenih izbočina (ISO 4287:1997/Amd 1:2009; EN ISO 4287:1998/A1:2009).*
- [3] <https://cougartron.com/int/>, preuzeto 6. veljače 2019.
- [4] Runje B.: Predavanja iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja (Skripta), Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.
- [5] <https://www.taylor-hobson.com/-/media/ametektaylorhobson/files/learning%20zone/exploring%20surface%20texture%202014.pdf?la=en>, preuzeto 6. veljače 2019.
- [6] <http://tolerancing.net/engineering-drawing/surface-texture.html>, preuzeto 6. veljače 2019.
- [7] [https://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2012/11/1984\\_Surf\\_Roughness\\_PG.pdf](https://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2012/11/1984_Surf_Roughness_PG.pdf), preuzeto 6. veljače 2019.
- [8] E učenje: Teorija i tehnika mjerenja, Predavanje- Ispitivanje hrapavosti površina
- [9] <https://www.qualitymag.com/articles/92095-a-different-slice-of-surface-finish>, preuzeto 6. veljače 2019.
- [10] <https://slideplayer.com/slide/2529691/>, preuzeto 6. veljače 2019.
- [11] <https://www.keyence.com/ss/products/microscope/roughness/line/load-length->, preuzeto 6. veljače 2019.
- [12] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013602000602>, preuzeto 6. veljače 2019.

- [13] <https://guide.digitalsurf.com/en/guide-profile-parameters.html>, preuzeto 6. veljače 2019.
- [14] HRN EN 10020:2008:Definicija i razredba vrsta čelika (EN 10020:2000)
- [15] <https://www.indiamart.com/proddetail/stainless-steel-sheet-plate-14097429697.html>, preuzeto 7. veljače 2019.
- [16] EN 10088-2:2014 *Stainless steels - Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for general purposes*
- [17] [https://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/euroinox/Finishes.pdf](https://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/euroinox/Finishes.pdf), preuzeto 7. veljače 2019.
- [18] <https://www.checker-plate.com/checkerplate/stainless-steel-checker-plate.html>, preuzeto 7. veljače 2019.
- [19] <http://academia-salamanca.info/?h=Taylor+Hobson++LinkedIn>, preuzeto 10. veljače 2019.
- [20] [http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-EN-Standards-for-Stainless-Steel-CR-Sheet\\_64.ashx](http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-EN-Standards-for-Stainless-Steel-CR-Sheet_64.ashx), preuzeto 12. veljače 2019.
- [21] [http://www.wilsonsmetals.com/datasheets/Stainless-Steel-EN-Standards-for-Stainless-Steel-CR-Sheet\\_64.ashx](http://www.wilsonsmetals.com/datasheets/Stainless-Steel-EN-Standards-for-Stainless-Steel-CR-Sheet_64.ashx), preuzeto 12. veljače 2019
- [22] Horvat N.: *Elektropoliranje nehrđajućih čelika* (Diplomski rad), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2012.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc